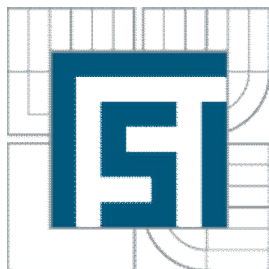


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ A MONTÁŽ ODBOČNICE

WELDING TECHNOLOGY AND ASSEMBLY OF BIFURCATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MICHAL KEPRT

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. JAROSLAV KUBÍČEK

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Michal Keprt

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Technologie svařování a montáž odbočnice

v anglickém jazyce:

Welding technology and assembly of bifurcation

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Problematika svařování v oblasti energetických a chemických zařízení je vždy velmi náročná.

Většinou se jedná o velké tloušťky svařenců s náročnými tvarovými konstrukcemi. Cílem práce je navrhnout a pomocí MKP predikovat možné komplikace při svařování potrubní odbočnice v energetickém bloku.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Popis konstrukce a návrhu odbočnice.
- 2) Vizualizace pomocí MKP.
- 3) Návrh technologie svařování.
- 4) Návrh úprav svarové hrany.
- 5) Vypracování technologického postupu svařování a WPS.
- 6) Návrh metodiky kontroly svaru.
- 7) Závěr.

Seznam odborné literatury:

1. DVORÁK, M. a kol. Technologie II, 2vyd. CERM Brno, 7/2004, 237s. ISBN 80-214-2683-7
2. PILOUS, V. Materiály a jejich chování při svařování, 1vyd. ŠKODA-WELDING, Plzeň, 2009
3. BARTÁK, J. Výroba a aplikované inženýrství, 1vyd. ŠKODA-WELDING, Plzeň, 2009
4. KOLEKTIV AUTORU. Materiály a jejich svařitelnost, 1vyd. Zeross, Ostrava 2001, 292s. ISBN 80-85771-85-3
5. KOLEKTIV AUTORU. Technologie svařování a zařízení, 1vyd. Zeross, Ostrava 2001, 395s. ISBN 80-85771-81-0
6. KOLEKTIV AUTORU. Navrhování a posuzování svařovaných konstrukcí a tlakových zařízení, 1vyd. Zeross, Ostrava 1999, 249s. ISBN 80-85771-70-5
7. KOLEKTIV AUTORU. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování, 1vyd. Zeross, Ostrava 2000, 214s. ISBN 80-85771-72-1

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jaroslav Kubíček.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 13.11.2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

KEPRT Michal: Technologie svařování a montáž odbočnice.

Cílem práce je konstrukční návrh a technologie výroby svařování odbočnice. Pro konstrukční návrh a jeho kontrolu statickým výpočtem pomocí metody konečných prvků byl využit program SolidWorks® 2013. Materiál dílců odbočnice byl navržen S 355 J2, který je schopen danému zatížení odolat. Při návrhu technologie svařování pak byla zvolena metoda tavného svařování MAG, s použitím aktivní směsi plynů Ar+18%CO₂. Přídavným materiálem pro svařování bude OK Autrod 12.51, dle označení firmy ESAB s.r.o. Pro každý svar je třeba vytvořit úpravu svarové hrany, kterou provedeme na CNC obráběcím centru. Při výrobě požadujeme striktní dodržení předepsaného pracovního postupu a splnění protokolu WPS. Po svaření odbočnice provedeme zkoušky svarů, konkrétně pak zkoušku vizuální, penetrační a ultrazvukovou.

Klíčová slova: Odbočnice, technologie svařování, svařování, MKP, kontrola svaru

ABSTRACT

KEPRT Michal: Welding technology and assembly of bifurcation.

Aim of this work is design and manufacturing welding technology of bifurcation. For structural design and control of static calculation using the finite element method was used SolidWorks ® 2013. Material of bifurcation parts was designed S 355 J2, which is able to withstand a given load. In the design of technology of welding there was elected MAG-welding method, with the active gas mixture Ar +18% CO₂. Additive material for welding will be OK Autrod 12.51, like it's marked by ESAB s.r.o. For each weld is necessary to create the welding edge, which is made on CNC machining center. In the production we require strict adherence to the prescribed workflow and compliance with WPS protocol. After welding we will make weld test, visual examination, dye penetrant and ultrasonic examination.

Keywords: Bifurcation, technology of welding, welding, FEM, examination of weld

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KEPRT, M. Technologie svařování a montáž odbočnice. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 37 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaroslav Kubíček.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací ve firmě Design & Construction, s.r.o. a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Jedovnicích dne 28. 5. 2014

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Jaroslavu Kubíčkovi, za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Dále chci poděkovat panu Ing. Františku Svěrákovi za pomoc při řešení problematiky MKP a také rodině za podporu ve studiu.

OBSAH

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

PODĚKOVÁNÍ

OBSAH

ÚVOD

1) POPIS KONSTRUKCE A NÁVRHU ODBOČNICE11

1.1) PARAMETRY A MATERIÁL ODBOČNICE12

1.2) ČÁSTI ODBOČNICE.....13

2) VIZUALIZACE POMOCÍ METODY KONEČNÝCH PRVKŮ.....16

2.1) POPIS METODY KONEČNÝCH PRVKŮ16

2.2) DISKRETIZACE A ZÁKLADNÍ PRVKY MKP.....16

2.2.1) *Diskretizace (triangulace) tělesa pomocí konečných prvků*16

2.2.2) *Tvary prvků ve 2D a 3D*17

2.3) LINEÁRNÍ STATICKÁ ANALÝZA18

2.4) VÝSLEDKY LINEÁRNÍ STATICKÉ ANALÝZY.....19

3) NÁVRH TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ.....23

3.1) SVAŘOVÁNÍ ELEKTRICKÝM OBLOUKEM.....24

3.2) SVAŘOVÁNÍ TAVÍCÍ SE ELEKTRODOU V OCHRANNÉM PLYNU METODOU MIG/MAG ..24

4) NÁVRH ÚPRAVY SVAROVÉ HRANY27

5) VYPRACOVÁNÍ TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU SVAŘOVÁNÍ A WPS.....29

6) NÁVRH METODIKY KONTROLY SVARU.....32

6.1) TYPY VAD A KONTROLY SVARŮ32

6.2) NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKY32

6.3) VIZUÁLNÍ ZKOUŠKA (VT)33

6.4) PENETRAČNÍ-KAPILÁRNÍ ZKOUŠKA (PT)33

6.5) ZKOUŠKA MAGNETICKÁ PRÁŠKOVÁ (MT)34

6.6) ZKOUŠKA ULTRAZVUKOVÁ (UT)35

6.7) NÁVRH NEDESTRUKTIVNÍ KONTROLY SVARŮ ODBOČNICE.....36

7) ZÁVĚR.....37

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

SEZNAM PŘÍLOH

VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

ÚVOD[6]

Poptávka po elektrické energii se adekvátně zvětšuje s přibývajícím populací na planetě a tak se energetické společnosti snaží produkovat co nejvíce energie ze všech dostupných zdrojů. Stále však velké množství financí putuje na zdokonalování výroby elektřiny v jaderných a tepelných elektrárnách, které produkují více než 80% energie na trhu. Proto se také vývoj zaměřuje na co možná nejlevnější a nejekologičtější výrobu elektrické energie z obnovitelných zdrojů.

Mezi hlavní obnovitelné zdroje patří vodní, větrná a solární energie, z nichž největší produkci pak vytváří hydroenergetika. Vodní elektrárny (Obr. 1) vyrábí tzv. bezodpadovou energii a tak je můžeme považovat za ekologické a šetrné k přírodě. Pro stavbu vodní elektrárny je z hlediska strojírenství důležitá nejen hlavní část (turbína a její části), ale také přívodní potrubí turbíny, v němž proudí médium, které turbínu pohání. Takováto potrubí jsou pak tvořena několika dílci, které jsou spojeny buďto přírubovými spoji, nebo svařeny. Tyto svařence pak můžeme z hlediska konstrukčního i technologického považovat za tlakové nádoby a jsou na ně kladeny vysoké požadavky.

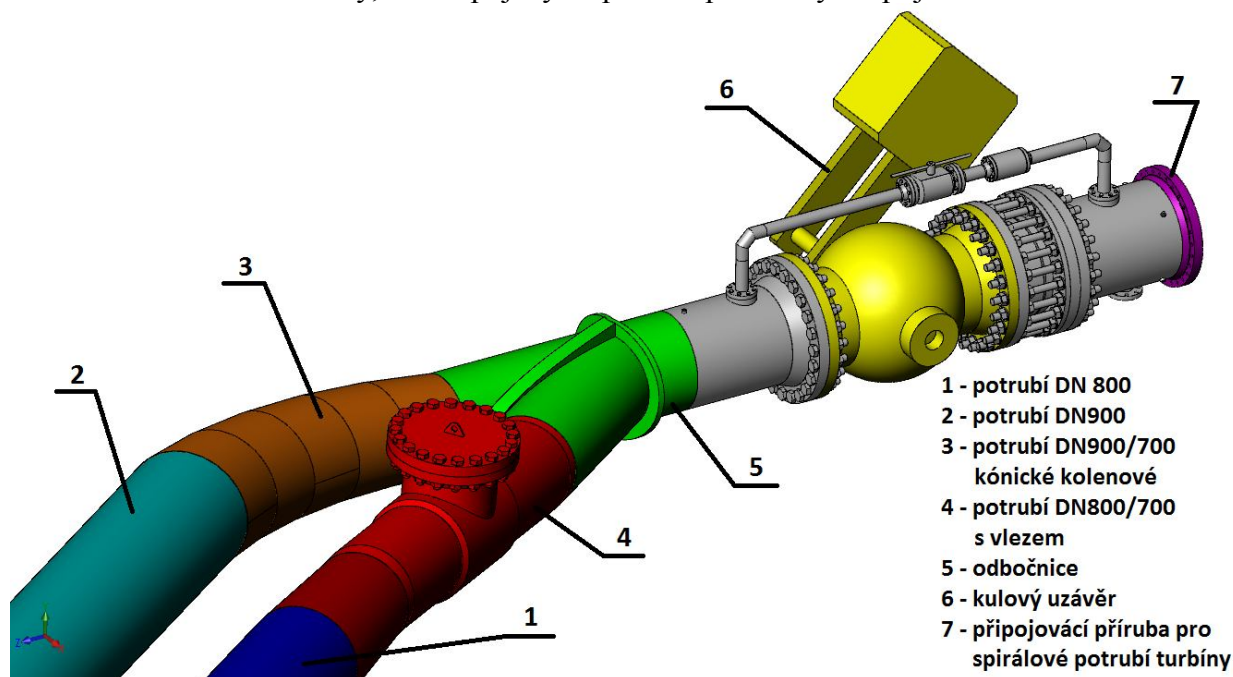
V této bakalářské práci je popsána konstrukce, technologie svařování, úprava svarové hrany a metodika kontroly svarů pro svařenec sestavy odbočnice sloužící pro přívod vody na jednu z peltonových turbín v Rumunském komplexu vodních elektráren Resita, konkrétně Crainicel II. Odbočnice byla navržena ve firmě Design & Construction, s.r.o. se sídlem Heršpická 11, Brno. Firma Design & Construction, s.r.o. se zabývá pouze projekční činností a to zejména ocelovými konstrukcemi a vodohospodářskými zařízeními budovanými v České republice i zahraničí.



Obr. 1 Vodní elektrárny[6]

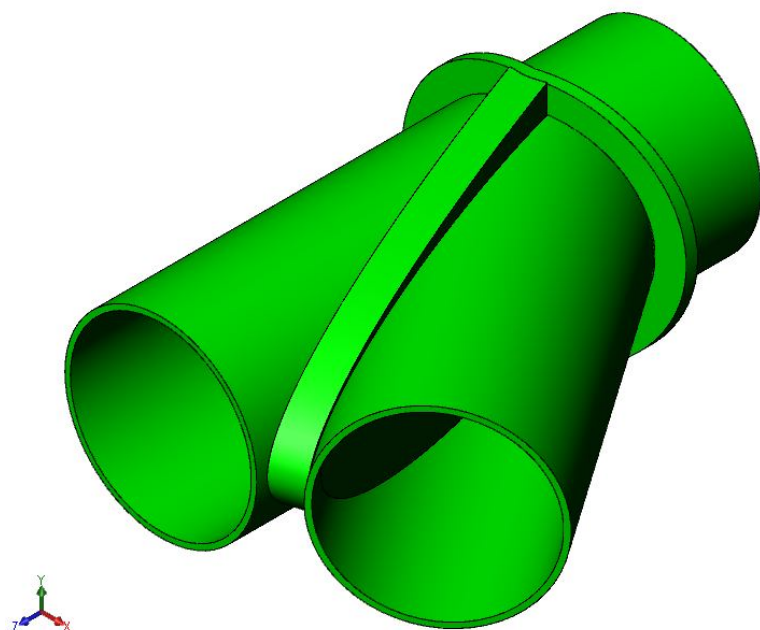
1) POPIS KONSTRUKCE A NÁVRHU ODBOČNICE[1,6]

Sestava přívodního potrubí turbíny (viz Obr. 1) se skládá ze 7 základních dílců. Tyto dílce jsou mezi sebou buďto svařeny, nebo spojeny za pomoci přírubových spojů.



Obr. 1 Sestava přívodního potrubí

Odbočnice slouží k usměrnění nebo sjednocení dvou či více větví přívodního potrubí vedoucímu k místu určení. Většinou bývají zapojeny horizontálně nebo vertikálně dle typu a požadavkům kladeným na konstrukci. Ukotvení je provedeno buď na betonový podstavec a následné ukotvení ke konzole pomocí šroubů a objímek, nebo ukotvení přímo do betonového bloku, čímž se zvýší tuhost soustavy.



média tzv. Obr. 2 Sestava odbočnice

Tato odbočnice (viz Obr. 2) je sestavena z pěti základních dílů, z nichž 3 jsou trubky jmenovité světlosti DN700 a tloušťkou stěny 20 mm. Další dva díly jsou žebra sloužící k vyztužení odbočnice, z nichž jedno je zkonstruováno do tvaru písmene C a má tloušťku 120 mm a druhé je kruhového tvaru s tloušťkou stěny 40 mm.

Na sestavu odbočnice, ve směru toku navazuje další trouba jmenovité světlosti DN 700, na níž jsou přivařeny dva návarky ve svislé poloze proti sobě. Tyto návarky slouží k umístění měřících přístrojů pro měření rychlosti proudícího průtokoměry.

Zasazení prvku odbočnice do sestavy přívodního potrubí bylo provedeno z důvodu sjednocení dvou přívodních potrubí o světlosti DN 800 a DN 900 v jedno potrubí DN 700. Dle Obr. 1, pravá část slouží k přívodu pracovního média z potrubí světlosti DN 800 skrze redukční kužel a lomené potrubí, k němuž je přivařen kontrolní vlez. Druhá větev je redukována kónickým kuželovým potrubím tvořeným z pěti částí, navzájem mezi sebou svařovaných. Kónické kuželové potrubí a lomené potrubí vyrovnávají výškový rozdíl mezi původním a nynějším stavem přivaděče.

Konstrukční návrh jako takový i statická analýza byly zhotoveny mnou ve firmě Design & Construction pod vedením ing. Františka Svěráka, kde jsem jakožto zaměstnanec pracoval, dle výkresové dokumentace a požadavků pro zakázku od firmy HYDROPOL PROJECT & MANAGEMENT, a.s., zabývající se plánováním, stavbou, řízením a financováním středních a malých vodních elektráren a souvisejících vodních staveb, jako jsou přehrady, jezy nebo přivaděče v tuzemsku i zahraničí.[6]

1.1) Parametry a materiál odbočnice [1]

Jmenovitá světlost:	DN 700
Jmenovitý tlak:	PN 5,1MPa
Maximální dynamický tlak:	509,6m
Maximální průtok:	2,43 m ³ /s
Minimální průtok:	0,24 m ³ /s
Ztráty:	do 10%

Připojení/přivaření: - montážním, obvodovým, oboustranným, ½ V-svarem (K-svarem), zevnitř plochým a z vnějšku převýšeným

Materiál: Potrubí i žebra jsou z materiálu S 355 J2.

Tab.1 Chemické složení oceli S355J2 v hmotnostních procentech[1]

Chemické složení v hmotnostních % (rozbor tavby)									
	C max. pro tloušťku v mm								
Označení	≤ 16mm	> 16mm ≤ 40 mm	> 40 mm	Si	Mn	P	S	N	Cu
S355J2	0,20	0,20	0,22	0,55	1,60	0,025	0,025	-	0,55

Pro profily o jmenovité tloušťce nad 100 mm se obsah C stanoví po dohodě.

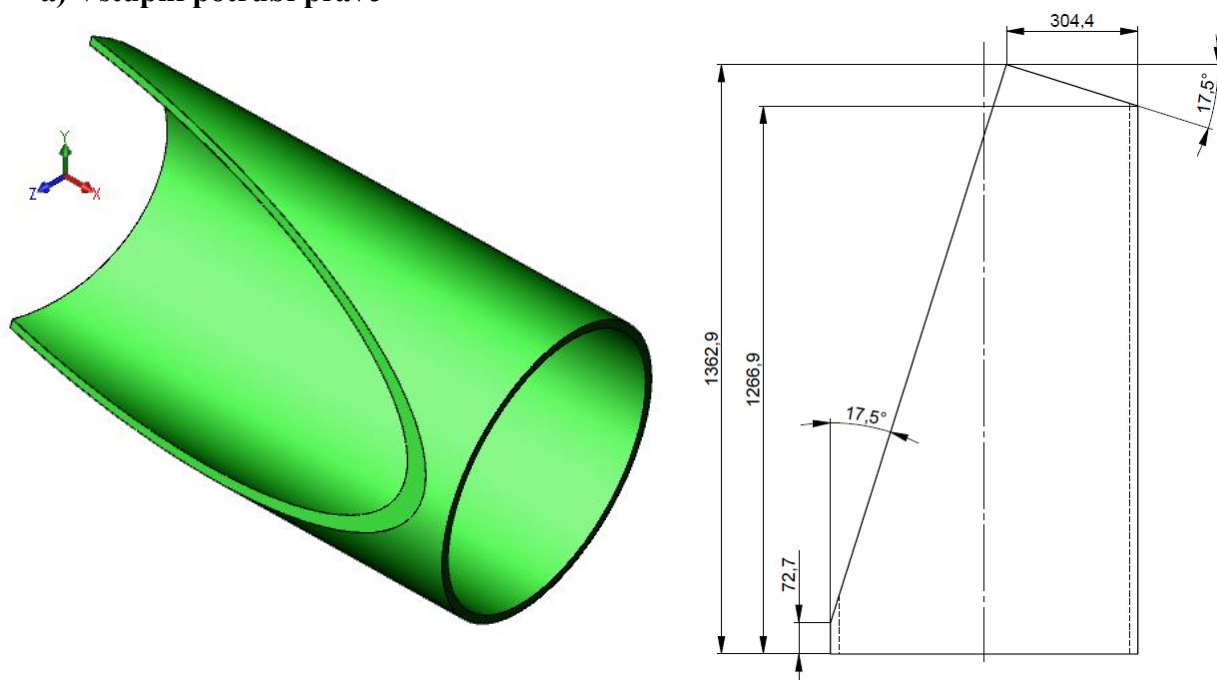
Technologické a konstrukční vlastnosti materiálu S 355 J2:

- *Svařitelnost* – jedná se o nelegovanou jakostní konstrukční ocel vhodnou ke svařování všemi obvykle používanými způsoby svařování. S rostoucí tloušťkou a rostoucí hodnotou uhlíkového ekvivalentu se zvyšuje riziko výskytu trhlin za studena v oblasti sváru. Je účelné dbát doporučení stanovující podmínky pro svařování.
- *Tváření za tepla* – jsou-li dodané výrobky dále tvářené za tepla, splňují uvedené mechanické hodnoty pouze po následném normalizačním žíhání.
- *Mez kluzu* – $R_e = 345$ MPa

Zkoušky po ukončení výroby: tlaková – tlakováno na 1,5 násobek výpočtového tlaku

1.2) Části odbočnice

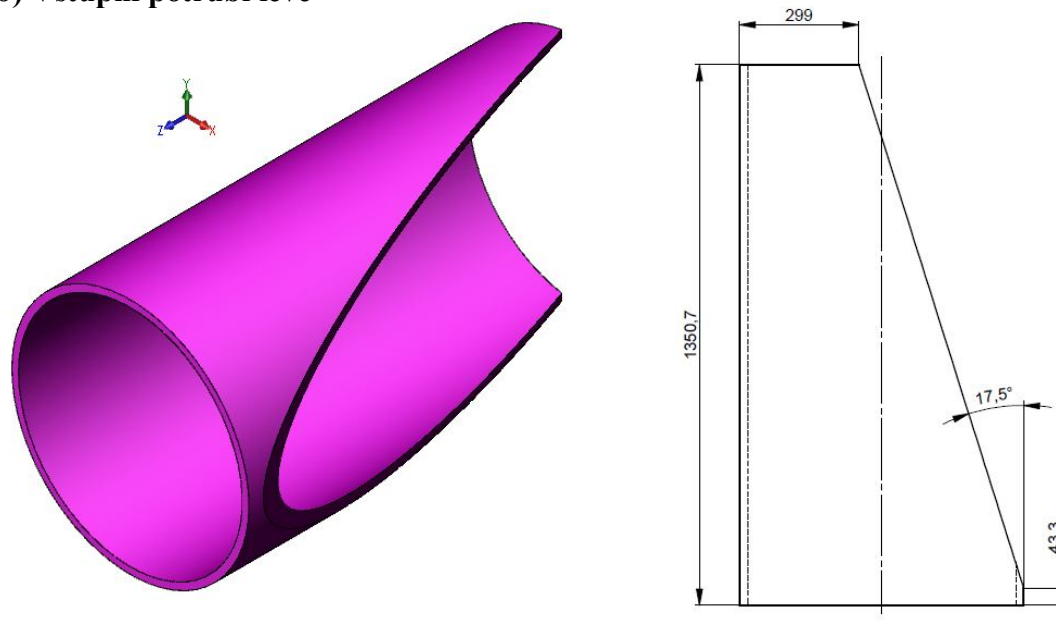
a) Vstupní potrubí pravé



Obr. 3 Vstupní potrubí pravé

Jedná se o potrubí dodávané firmou TUBISPA. Světlost potrubí je DN700, vnitřní průměr pak 671,2 mm, délky 1362,9 mm a tloušťka stěny 20 mm. Dle Obr. 3 je pak potrubí upraveno dle požadovaného tvaru. Úkosy 17,5° jsou řezány plamenem s přídavkem a následně dobroušený do požadovaných rozměrů dle výkresové dokumentace.

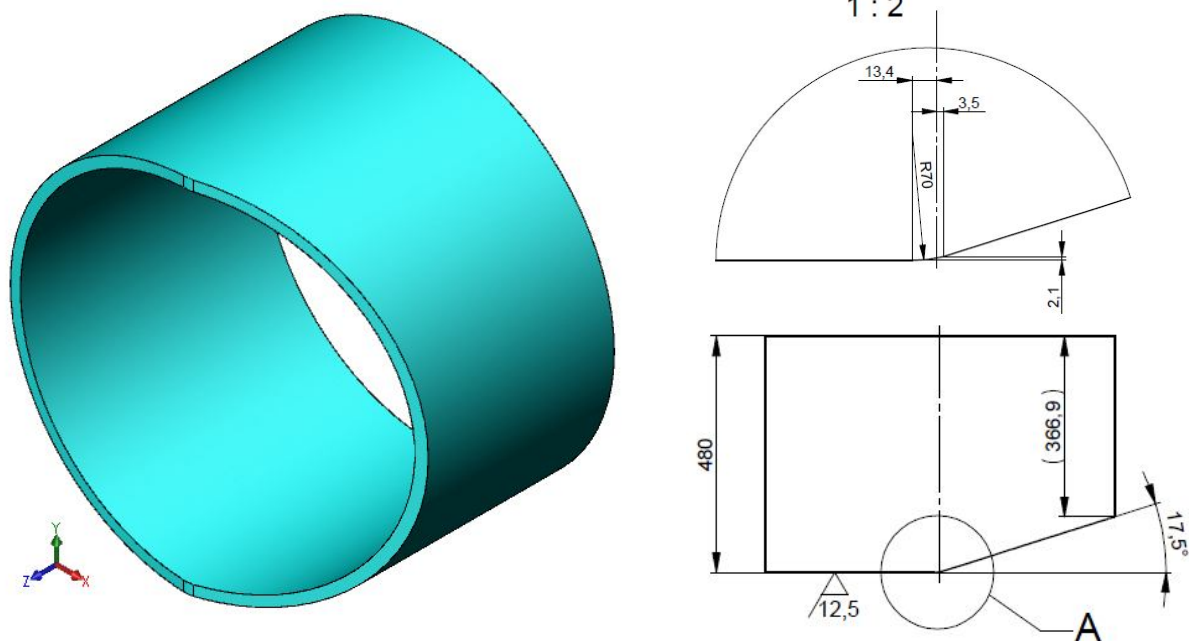
b) Vstupní potrubí levé



Obr. 4 Vstupní potrubí levé

Jedná se o potrubí dodávané firmou TUBISPA. Světlost potrubí je DN700, vnitřní průměr pak 671,2 mm, délky 1350,7 mm a tloušťka stěny 20 mm. Dle Obr. 4 je pak potrubí upraveno dle požadovaného tvaru. Úkos 17,5° je řezán plamenem s přídavkem a následně dobroušen dle výkresové dokumentace.

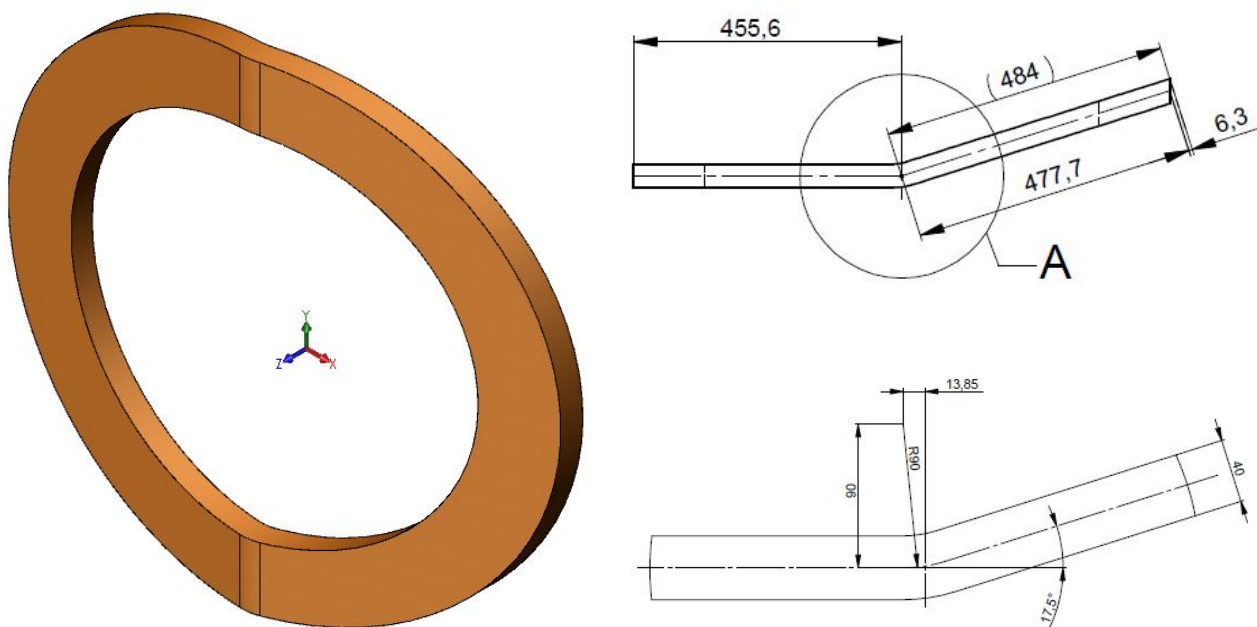
c) Výstupní potrubí



Obr. 5 Výstupní potrubí

Jedná se o potrubí dodávané firmou TUBISPA. Světlost potrubí je DN700, vnitřní průměr pak 671,2 mm, délky 480 mm a tloušťka stěny 20 mm. Dle Obr. 5 je pak potrubí upraveno dle požadovaného tvaru. Úkos 17,5° je řezán plamenem s přidavkem a následně dobroušen do požadovaných rozměrů dle výkresové dokumentace.

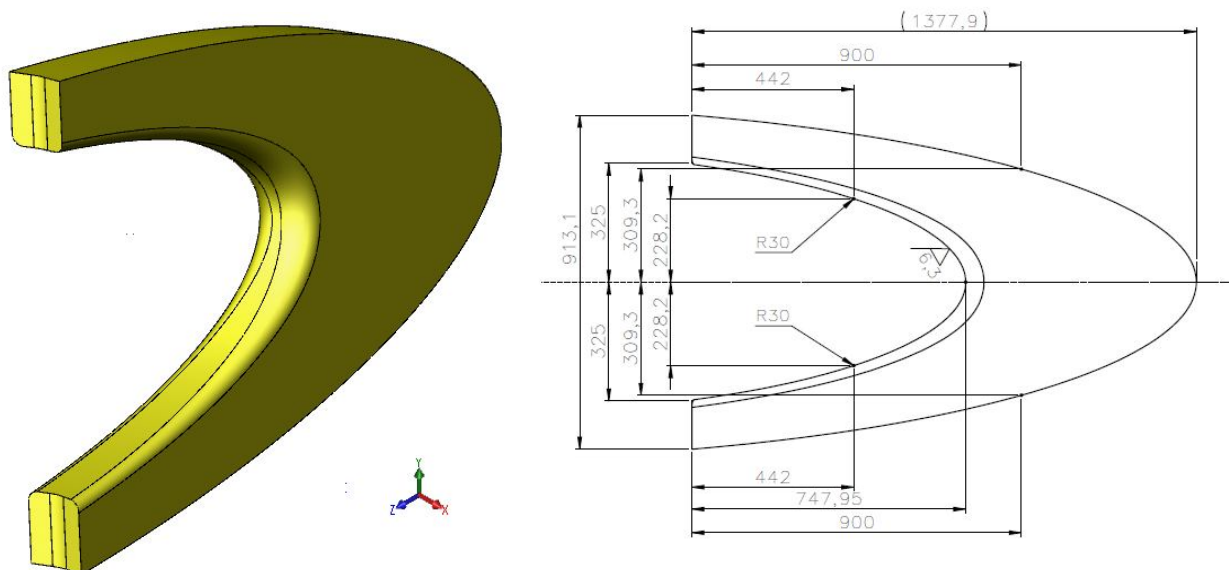
d) Kruhové žebro



Obr. 6 Kruhové žebro

Pro výrobu žebra, viz Obr. 6, použijeme plech tloušťky 40 mm a nejprve ho na ohraňovacím lisu ohneme o úhel 17,5°. Již ohnutý plech upneme do speciálního přípravku a pomocí laserové technologie vyřezeme vnější tvar žebra (\varnothing 911,2 mm). Upneme za vnější tvar a opět za pomoci laseru vyřezeme vnitřní tvar žebra (\varnothing 671,2 mm).

e) Vyztužující žebro



Obr. 7 Vyztužující žebro

Vyztužující žebro bude vyráběno z plechu tloušťky 120 mm a to řezáním laserem. Nejdříve se vyřízne vnější tvar žebra a posléze vnitřní tvar. Rádus s proměnlivým profilem bude frézován na CNC obráběcím centru s možností pohybu v pěti osách a za využití technologie HSM.

2) VIZUALIZACE POMOCÍ METODY KONEČNÝCH PRVKŮ[2,11,12]

2.1) Popis metody konečných prvků [2][12]

Metoda konečných prvků (dále jen MKP) je v současné době považována za nejuniverzálnější metodu pro řešení variačně formulovaných problémů fyziky, souvisejících s problematikou teorie polí. Základním předpokladem řešení je znalost funkcionálu π , definovaného na množině funkcí. MKP je dobře použitelná v celé řadě oblastí fyziky, např. v:

- mechanice kontinua (teorie pružnosti, plasticity, atd.)
- vedení tepla
- difuze, prosakování
- elektřině a magnetismu (teorie elektrického a magnetického pole)

K velkým přednostem MKP v oblasti mechaniky kontinua patří zejména:

- možnost řešení úlohy pro obecný geometrický tvar tělesa, obecné zatížení a uložení i pro komplikované podstatné vztahy materiálu
- snadné řešení materiálově nehomogenních problémů (např. ve srovnání s metodou hraničních prvků (MHP))
- dobré matematické vlastnosti (numerická stabilita u statických a kvasistatických problémů s malými setrvačnými silami, stacionárních dynamických úloh v oblasti kmitání a resonance (problematika vlastních čísel), nestacionárních dynamických rázových problémů (zde vytvářejí konečné prvky frekvenční filtr vedoucí k distorzi pulzu) [12])

Praktický výpočet probíhá tak, že za pomoci počítačového programu pro přípravu vstupních dat (preprocesingu) se vytvoří geometrický model tělesa nebo soustavy, který se spojitě, tj. beze zbytku, rozdělí na prvky konečných rozměrů. Základním prvkem v rovině je čtyřúhelník (viz Obr. 9), v prostoru pak šestistěn (viz Obr. 10), někdy je nutné použít zjednodušené tvary prvku (trojúhelník, čtyřstěn). Rohy těchto prvků, případně některé další význačné body, jsou uzlovými body, v nichž se určují neznámé hodnoty posuvů, strany (hrany) prvků vytvářejí síť, jejíž hustota je rozhodující pro přesnost výsledků. Hrany prvků jsou obvykle přímé, ale pomocí kvadratických prvků lze realizovat i zakřivené. Kvadratické prvky mají kromě rohových uzlů ještě další uzly uprostřed stran (resp. hran), čímž dostáváme v rovině prvek osmi-uzlový a v prostoru prvek dvaceti-uzlový. Tyto prvky lépe vystihují lokální koncentraci napětí i při použití hrubé sítě (viz následující obrázky a tabulka). [2]

2.2) Diskretizace a základní prvky MKP

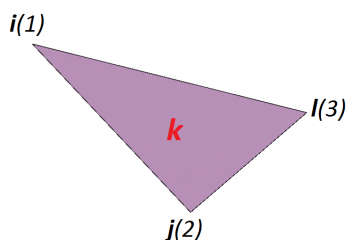
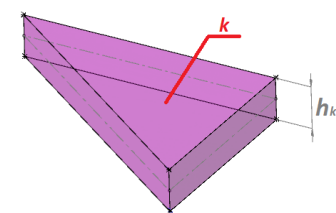
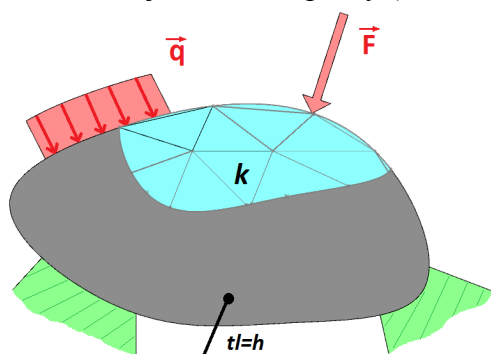
2.2.1) Diskretizace (triangulace) tělesa pomocí konečných prvků

Z matematického hlediska je MKP variační metodou. Vyřešení soustavy lineárních (parciálních) diferenciálních rovnic je koncipováno jako lineární kombinace báze funkcí. To lze objasnit tak, že úloha najít řešení spojitě funkce bude transformována na úlohu najít diskrétní množinu reálných čísel – koeficientů dané lineární kombinace. Z tohoto důvodu se tomuto procesu říká diskretizace.[2] Zjednodušeně řečeno, že diskretizace znamená rozdělení tělesa na části (prvky), které jsou matematicky snadno popsitelné.

Diskretizace oblasti musí být provedena tak, aby nikde nevznikly mezery nebo přesahy, což omezuje výběr prvků. [12]

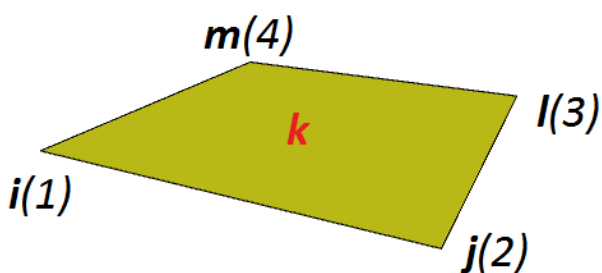
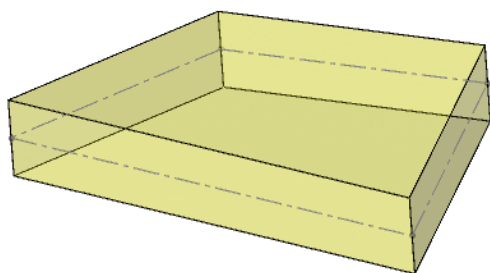
2.2.2) Tvary prvků ve 2D a 3D[12]

- **2D tělesa (stěny, desky, skořepiny):**
– trojúhelníkové prvky (viz Obr. 8)



Obr. 8 Diskretizace obecného 2D tvaru pomocí trojúhelníkového prvku a trojúhelníkový prvek

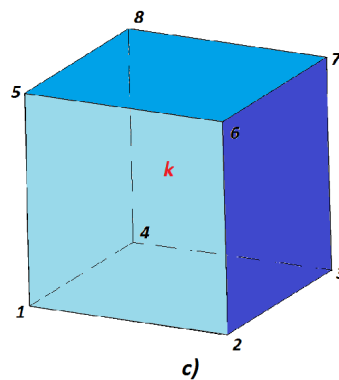
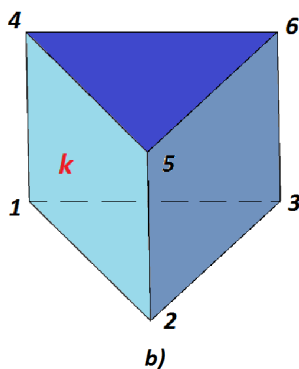
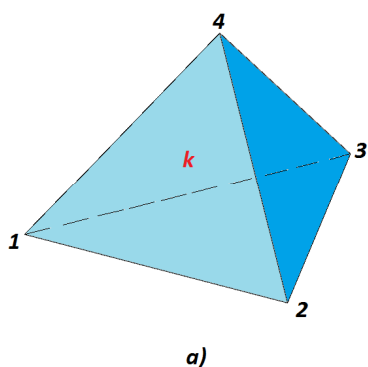
- čtyřúhelníkový prvek (viz Obr. 9)



Obr. 9 Čtyřúhelníkový prvek

- isoparametrický prvek (rovnice hraniční křivky i aproximační funkce pro posuvy jsou stejného charakteru – např. kvadratická parabola)

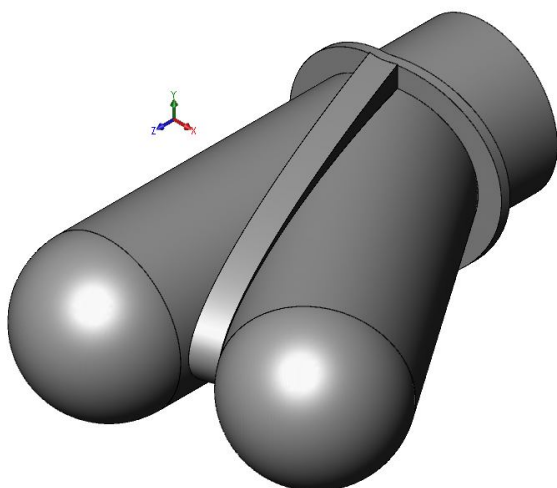
- **3D tělesa**
– čtyřstěn, pětistěn, šestistěn



Obr. 10 Prvky 3D těles; a) čtyřstěn, b) pětistěn, c) šestistěn

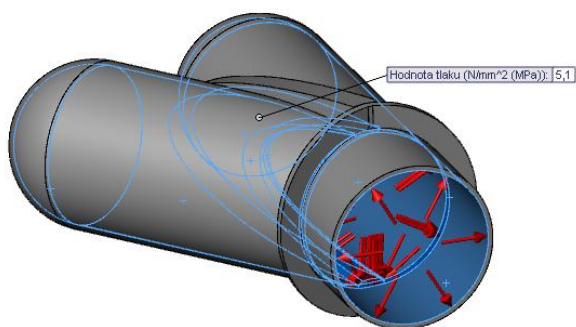
- isoparametrický čtyřstěn, pětistěn, šestistěn

2.3) Lineární statická analýza



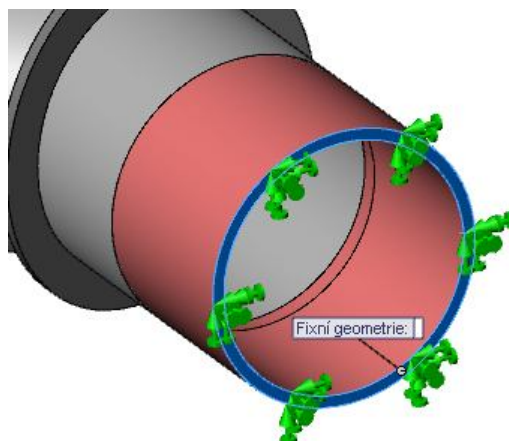
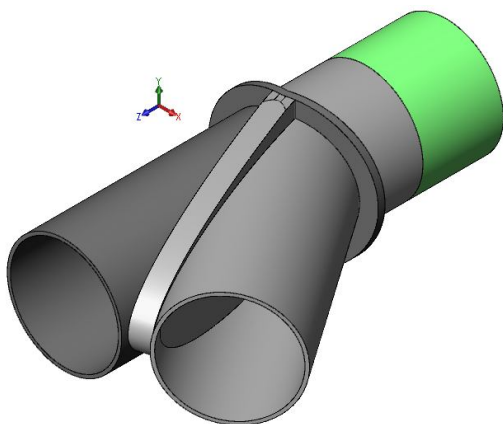
analýzy, i pokud dojde ke změně návrhu.[11]

Obr. 11 Odbočnice s výky



Obr. 12 Definování ploch zatížených tlakem

Druhá fáze výpočtu je tzv. otevřený stav, kde je k odbočnici na jejím výstupu přidána trubka (viz Obr. 13) o vnějším průměru 711,2 mm a tloušťkou stěny 20 mm z důvodu regulérnosti výpočtu. Pokud bychom zvolili fixní geometrii přímo na výstupním potrubí odbočnice, znamenalo by to, že se potrubí v dané rovině nemůže pohybovat, což by neodpovídalo reálnému stavu. Proto se fixní geometrie volí na přidané trubce (viz Obr. 14) Na stěny odbočnice, včetně přidané trubky pak působí tlak shodný s výpočtovým tlakem. Jak pro uzavřený, tak otevřený stav odbočnice byla použita síť tvořená 3D tetraedrickými (čtyřstěnnými) objemovými prvky (viz Obr. 10a) a jako parametry sítě byla zvolena standardní síť s prvky, jejichž globální velikost byla nastavena na 20 mm s tolerancí 1 mm (viz Obr. 15).



Jedná se o součást programu SolidWorks® Professional 2013, jež využívá k výpočtu napětí, namáhání a posuvu metodu konečných prvků. Znalost toho, jak bude návrh fungovat v různých podmínkách, umožňuje uživatelům změny ještě před výrobou prototypů, čímž šetří čas a prostředky. Díky integraci produktů návrhu a analýzy může být pevnostní analýza provedena jako jedna ze základních částí procesu návrhu. Všechny specifikace analýzy (zatížení, uchycení atd.) jsou použity na geometrii místo na vytvořenou síť MKP a díky tomu je zachována asociativita dat

Pro výpočet sestavy odbočnice byla k původnímu tvaru přidána dvě půlkulová víka s tloušťkou stěny 20 mm (viz Obr. 11), abychom dosáhli tzv. uzavřeného stavu pro výpočet. Uzavřený stav simuluje tlakovou zkoušku, kdy se odbočnice zaplní médiem a natlakuje se na 1,5 násobek výpočtového tlaku (definování ploch zatížených tlakem viz Obr. 12). Pro náš případ je výpočtový tlak 5,1 MPa.

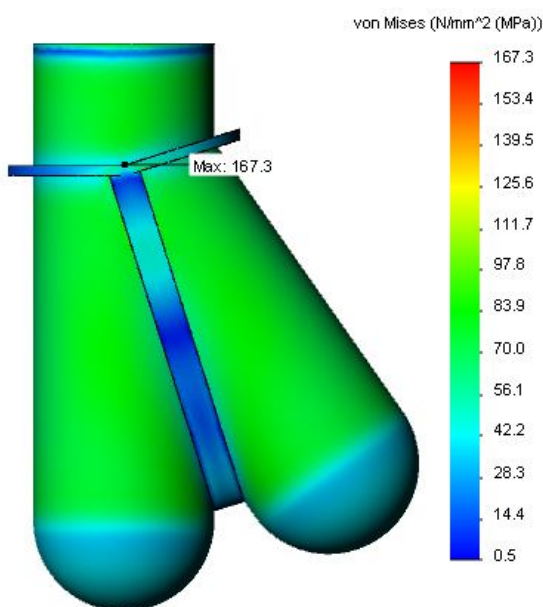
Obr. 13 Otevřený stav odbočnice pro výpočet

Obr. 14 fixní geometrie na přidané trubce

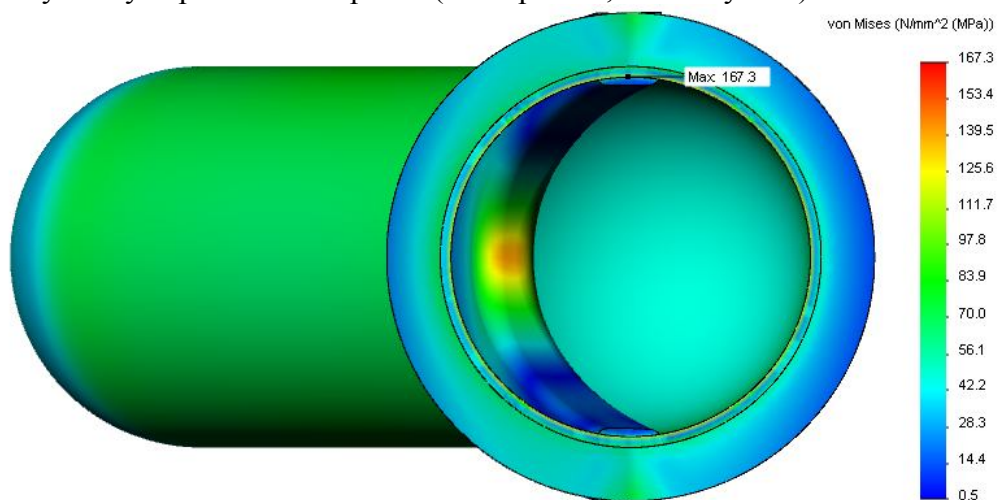


Obr. 15 3D model odbočnice pokrytý sítí

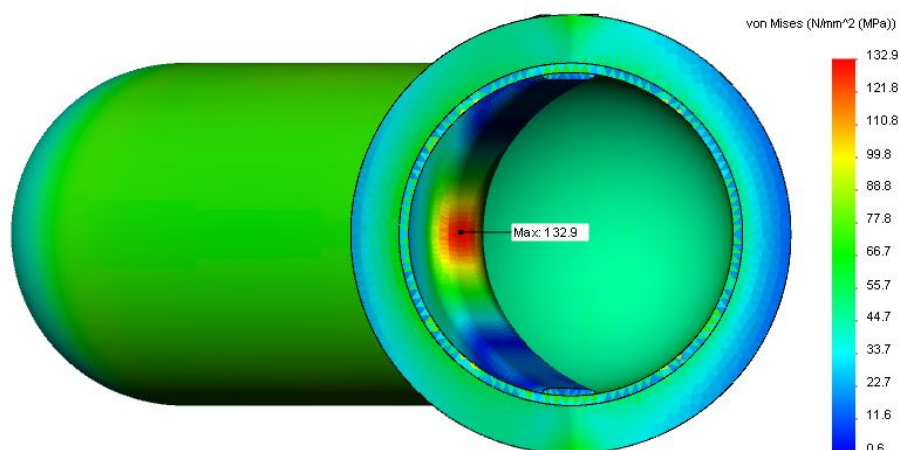
2.4) Výsledky lineární statické analýzy



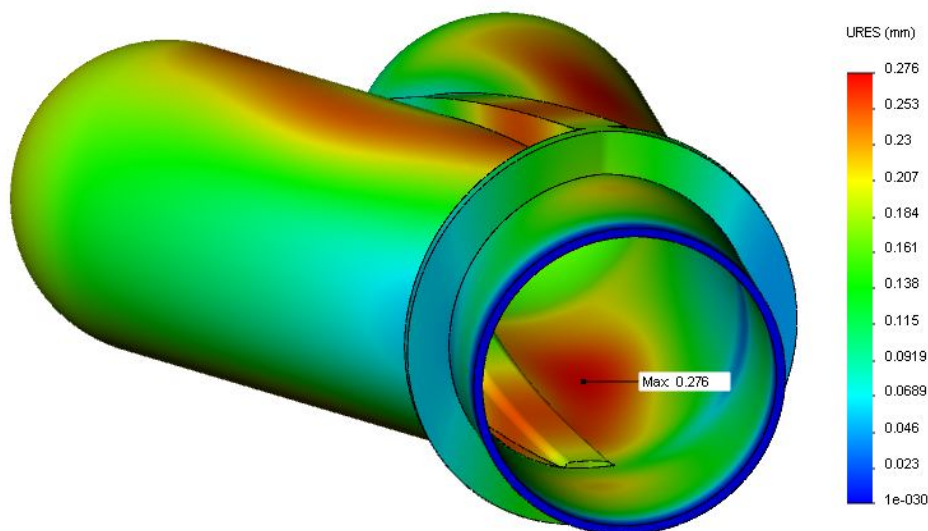
Obr. 16 Výsledky napětí v uzlech prvků (horní pohled, uzavřený stav)



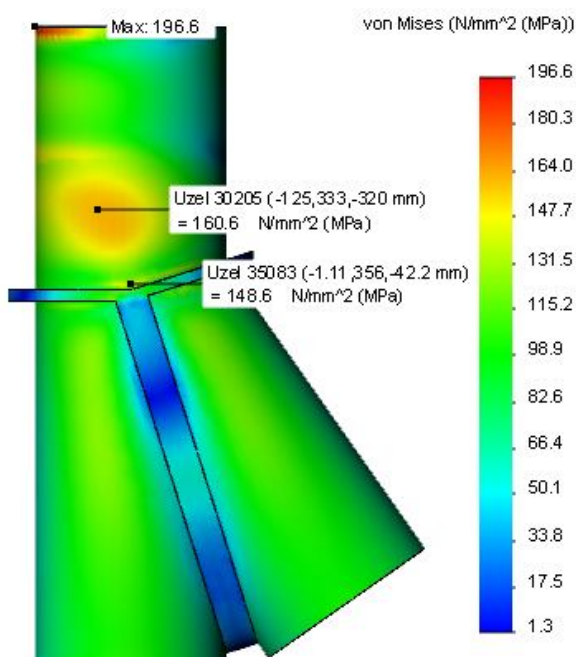
Obr. 17 Výsledky napětí v uzlech prvků (přední pohled, uzavřený stav)



Obr. 18 Výsledky napětí ve středu prvků (přední pohled, uzavřený stav)

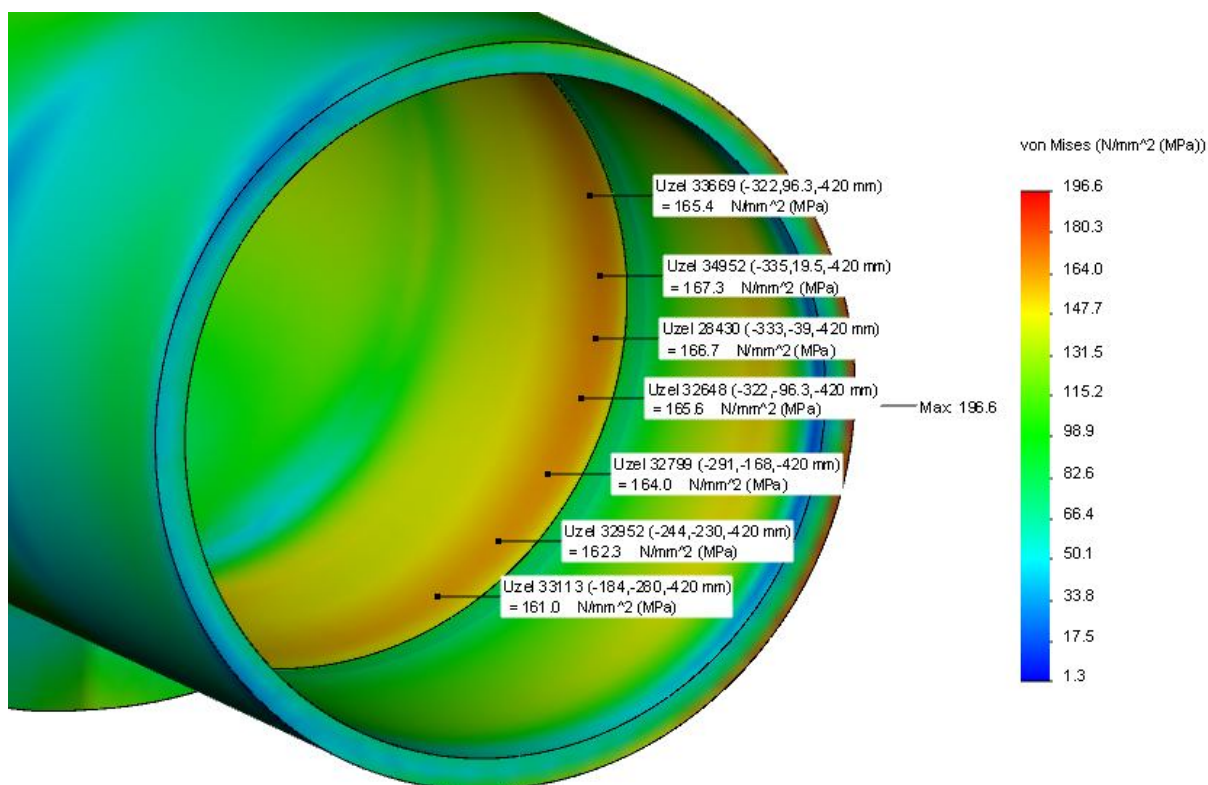


Obr. 19 Výsledky posunutí vlivem zatížení (3D pohled, uzavřený stav)

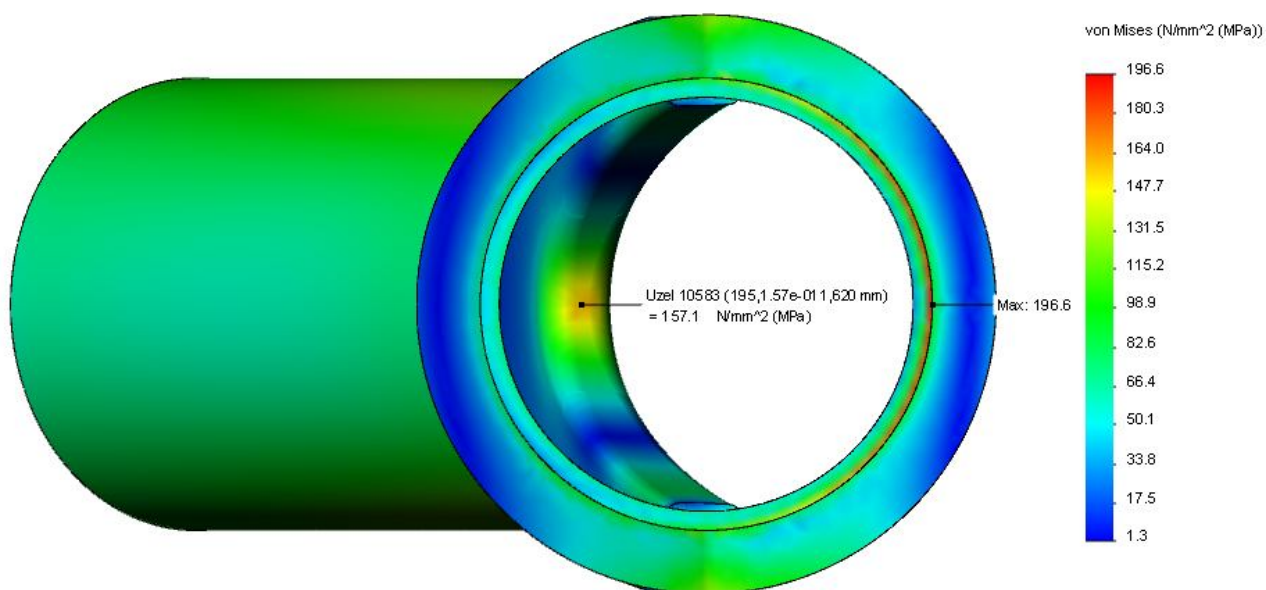


Dle výsledků dosažených lineární statickou analýzou napětí v uzlech tetraedrických prvků pro *otevřený stav*, který je pro výpočet méně příznivý než stav otevřený, můžeme predikovat, že nejvíce namáhanou součástí bude výstupní potrubí. Při zatížení soustavy tlakem bude mít odbočnice tendenci k vychýlení od původní osy rotace v místě montážního svaru s navazujícím potrubím (viz Obr. 20 a Obr. 21). Pro zatížení ve středu prvků pak dle výpočtu vychází jako nejvíce namáhané výstužné žebro v místě středu oblouku vnitřní elipsy (viz Obr. 22). Program SolidWorks umožňuje vykreslení izoploch, což je znázornění ploch přesahujících zatížení nad zadanou hodnotu (v našem případě 125 MPa).

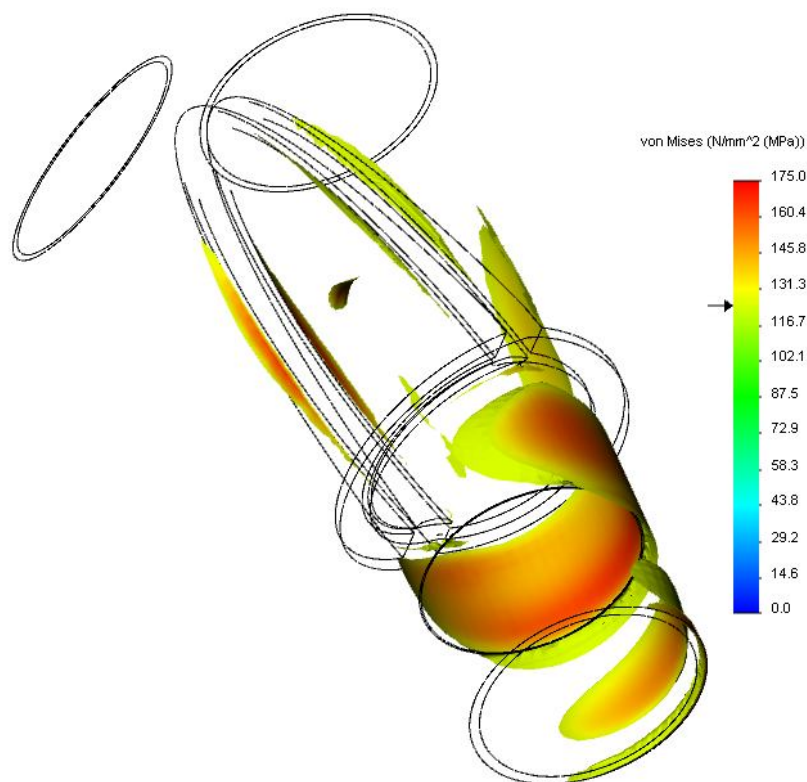
Obr. 20 Výsledky napětí v uzlech prvků (horní pohled, otevřený stav)



Obr. 21 Výsledky napětí v uzlech prvků (3D pohled, otevřený stav)



Obr. 22 Výsledky napětí ve středu prvků (přední pohled, otevřený stav)



Obr. 23 Zobrazení izoploch pro napětí větší jak 125MPa (3D pohled, otevřený stav)
Pro materiál S 355 J2 s hodnotou meze kluzu 345MPa volím dovolené napětí dle vzorce:

$$\sigma_D = \frac{R_e}{2} \quad [\text{MPa}], \quad (2.1.)$$

kde: σ_D [MPa] – dovolené napětí
 R_e [MPa] – mez kluzu

$$\sigma_D = \frac{R_e}{2} = \frac{345}{2} = \underline{\underline{172,5\text{MPa}}}$$

Jelikož jsou hodnoty vypočteného napětí jak v uzlech, tak ve středu prvku nižší než hodnota dovoleného napětí, tak můžeme říci, že takto dimenzovaná odbočnice vyhovuje a vydrží jak pracovní tak zkušební tlak. Daný výpočet jsem vypracoval v době, kdy jsem pracoval ve firmě Design & Construction.

3) NÁVRH TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ[7,9,10,14]

Svařování se s výhodou uplatňuje ve strojírenství, u silničních a železničních dopravních prostředků, pro stavbu lodí, u ocelových konstrukcí (např. mosty, jeřáby, atd.), u tlakových nádob pro chemický, energetický a potravinářský průmysl, v elektrotechnice, při výrobě zařízení a strojů.

Svařování patří svým druhem do skupiny nerozebíratelných spojení dvou nebo více dílů za pomoci přídavného materiálu, nebo i bez něj. Ke spojení dojde v důsledku dodání určitého množství energie do místa styku dílů. Svaření vznikne dosažením meziatomových vazeb mezi spojovanými díly při jejich ohřevu nebo díky plastické deformaci, popřípadě za působení obou těchto metod zároveň. V důsledku pak můžeme rozdělit obecně svařování na dva typy a to:

a) **Svařování tavné** – vykonávané místním ztavením spojovaných částí bez použití tlaku.

- *Svařování elektrickým obloukem:*
 - bez ochranného plynu – obloukové svařování obalenou elektrodou
– obloukové svařování plněnou elektrodou
 - v ochranném plynu
 - taví se elektrodou v inertním plynu (MIG)
 - taví se elektrodou v aktivním plynu (MAG)
 - wolframovou (netaví se) elektrodou v inertním plynu (WIG)
 - plazmové
 - atomovodíkové
 - pod tavidlem
 - drátovou elektrodou
 - páskovou elektrodou
 - plněnou elektrodou
- *Svařování plamenem*
- *Elektrostruskové svařování*
- *Elektronové svařování*
- *Laserové svařování*

b) **Svařování za použití tlaku** – Při něm je k dokonalému svaření dílů tlak nevyhnutelný.

- **Odporové svařování** – Teplo ke svaření vzniká průchodem elektrického proudu spojovanými díly
- **Třecí svařování** – Teplo ke svaření vzniká třením při vzájemném pohybu svařovaných dílů.
- **Tlakové svařování** – Uskutečňuje se plastickou deformací spojovaných dílů, při teplotách nižších než je teplota jejich tavení.
- **Ultrazvukové svařování** – Při současném působení mechanických kmitů vyvolaných ultrazvukem a tlaku. Mechanické kmity spojovaných dílů vyvolají třením teplo, které není dostatečné pro nastavení, avšak podpoří difúzi atomů.
- **Svařování explozí** – Spojení dílů vznikne jejich prudkým nárazem na sebe. Náraz je způsoben explozí vhodné trhavin.

Vzhledem ke konstrukci odbočnice se jeví jako nejvíce vhodnou metoda tavného svařování, svařování elektrickým obloukem taví se elektrodou v ochranném aktivním plynu (MAG). Proto si v následujících podkapitolách popíšeme teorii pro zvolenou metodu svařování.

3.1) Svařování elektrickým obloukem

Elektrický oblouk využitelný ve svařování je nízkonapěťový elektrický vysokotlaký výboj, který hoří v prostředí ionizovaného plynu. Stabilně hoří za předpokladu napětí dostatečného pro ionizaci daného prostředí a proudu udržujícího plazma oblouku v ionizovaném stavu.[8]

Charakteristické znaky oblouku jsou[9]:

- malý anodový úbytek napětí
- malý potenciální rozdíl na elektrodách
- proud řádově ampéry až tisíce ampér
- velká proudová hustota katodové skvrny
- intenzivní vyzařování světelného záření z elektrod i sloupce oblouku
- intenzivní vyzařování UV záření

Části elektrického oblouku:

- ♦ **Katodová skvrna** – je ostře ohraničená oblast, která termickou emisí emituje prvotní elektrony důležité pro zapálení oblouku a ionizaci plynného prostředí. Elektrony získávají v oblasti katodového úbytku napětí velkou kinetickou energii, díky níž jsou schopny při srážení ionizovat neutrální atomy na kladné ionty a sekundární elektrony. Teplota katodové skvrny je cca 2600 °C.
- ♦ **Anodová skvrna** – neutralizuje a odvádí dopadající záporné částice. Kinetická energie částic se konvertuje na tepelnou a z částečně i na elektromagnetické záření. Teplota anodové skvrny je přibližně 3000 °C.
- ♦ **Sloupec oblouku** – je zářivá svítící oblast disociovaného a ionizovaného plynu v plazmatické formě tvořené mezi elektrodami, která dosahuje velmi vysokých teplot 4000 až 7000° C. [9]

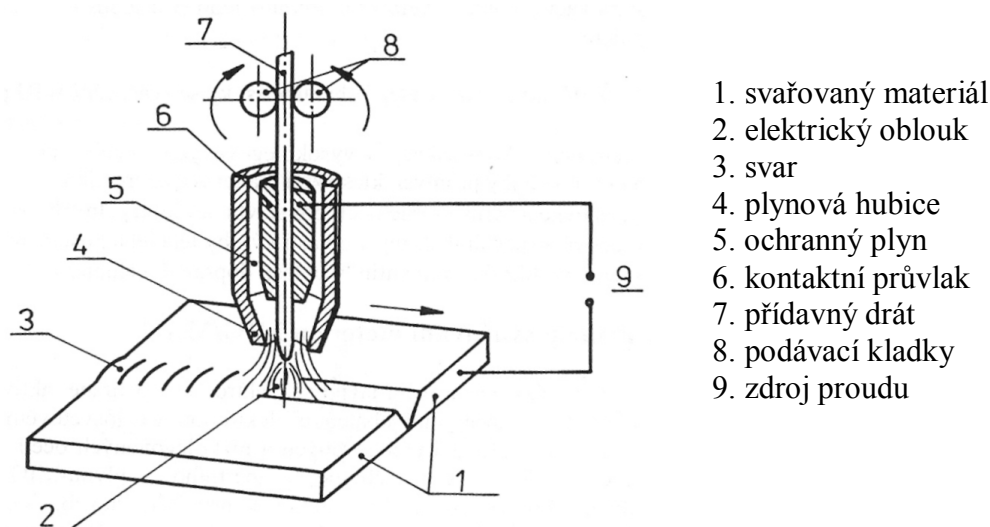
3.2) Svařování tavící se elektrodou v ochranném plynu metodou MIG/MAG[9,14]

Svařování v ochranné atmosféře aktivního plynu MAG patří se svařováním obalenou elektrodou v celosvětové produkci k nejrozšířenějším metodám pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. Svařování metodou MIG v netečném plynu získává na důležitosti z důvodu růstu objemu konstrukcí, staveb, lodí a dopravních prostředků vyráběných z hliníkových slitin. Hlavními důvody rozšíření metody MIG/MAG jsou: velký výběr přídavných materiálů a ochranných plynů, snadná mechanizace a robotizace, velký sortiment svařovacích zařízení a především podstatné výhody a charakteristiky této metody svařování.

Metodika svařování je založena na hoření oblouku mezi tavící se elektrodou (drátem) a základním materiálem v ochranné atmosféře inertního nebo aktivního plynu. Napájení drátu elektrickým proudem je opatřeno třecím kontaktem na konci hořáku tak, aby elektricky zatížená délka drátu byla co nejkratší. Drát je podáván podávacími kladkami umístěnými v podavači, ve vlastním hořáku, nebo kombinací obou způsobů podávání z cívky o běžné hmotnosti 15 kg. Proudová hustota je u svařování MAG nejvyšší ze všech metod obloukového svařování. Dosahuje až 600 A.mm⁻² a svařovací proudy se pak pohybují od 30 A u svařování tenkých plechů drátem o průměru 0,6–0,8 mm, až do 800 A u mechanizovaných metod s vysokým výkonem. Parametry svařování a druh ochranného plynu závisí na charakteru přenosu kovu obloukem. Pro tenké plechy se využívá tzv. zkratový přenos a pro plechy s větší tloušťkou pak přenos sprchový. U vysokých proudů se mění typ přenosu kovu obloukem a díky působení elektromagnetických sil se dosahuje rotujícího oblouku.

Teplota kapek kovu se při MAG svařování pohybuje v rozmezí 1700 až 2500 °C a teplota tavné lázně se v závislosti na technologii, parametrech svařování, chemickém složení a vlastnostech materiálu pohybuje mezi 1600 až 2100 °C. Díky vysokým proudům můžeme

dosáhnout svařovací rychlosti blíží se až k $150 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$ a rychlosti kapek přenášených obloukem přesahující až $130 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Ochranná atmosféra se volí podle vlastností svařovaného materiálu, ovlivňuje však také přenos kapek v oblouku, rozstřík, rozsah chemických reakcí a teplotní poměry v oblouku.



Obr. 24 Princip svařování tavicí se elektrodou v inertním nebo aktivním plynu - MIG/MAG.

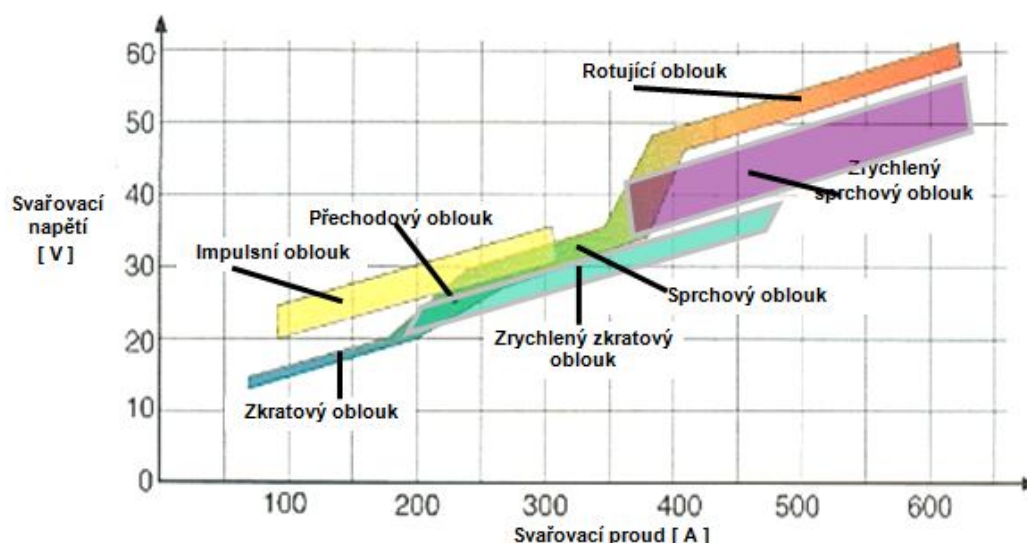
Přenos kovu v oblouku

Přenos kovu v elektrickém oblouku patří mezi základní charakteristiky metody svařování elektrickým obloukem tavicí se elektrodou a závisí především na parametrech svařování tj. napětí a proudu. Významně však jeho charakter ovlivňuje chemické složení ochranného plynu, druh přídavného materiálu a technika svařování.

Přenos kovu v oblouku můžeme rozdělit na jednotlivé typy (viz Graf 1):

- a) krátký oblouk se zkratovým přenosem kovu
- b) krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem
- c) přechodový dlouhý oblouk s nepravidelnými zkraty
- d) dlouhý oblouk se sprchovým bezzkratovým přenosem
- e) impulzní bezzkratový oblouk
- f) moderovaný bezzkratový přenos
- g) dlouhý oblouk s rotujícím přenosem kovu

Graf 1 - Oblasti přenosu kovu v oblouku.



Ochranné plyny

Hlavní úlohou ochranných plynů je zamezit přístupu vzduchu do oblasti svařování tj. především chránit elektrodu, oblouk i tavnou lázeň, její okolí a kořen svaru před účinky vzdušného kyslíku, který způsobuje oxidaci, naplynění, pórovitost a propal prvků. Jako nejvíce využívaný plyn pro metodu MAG se používá oxid uhličitý (CO_2). Ochranné plyny mají také významný vliv na:

- typ přenosu kovu v oblouku
- přenos tepelné energie do svaru
- chování tavné lázně
- hloubku závaru
- rychlost svařování
- další parametry svařování

V současnosti se častěji používají vicesložkové směsné plyny se základem argonu – Ar + CO_2 , Ar + O_2 , Ar + CO_2 + O_2 a Ar + He + CO_2 + O_2 .

Jako ochranný plyn volím M21 dle EN ISO 14175 obsahující 18% CO_2 .

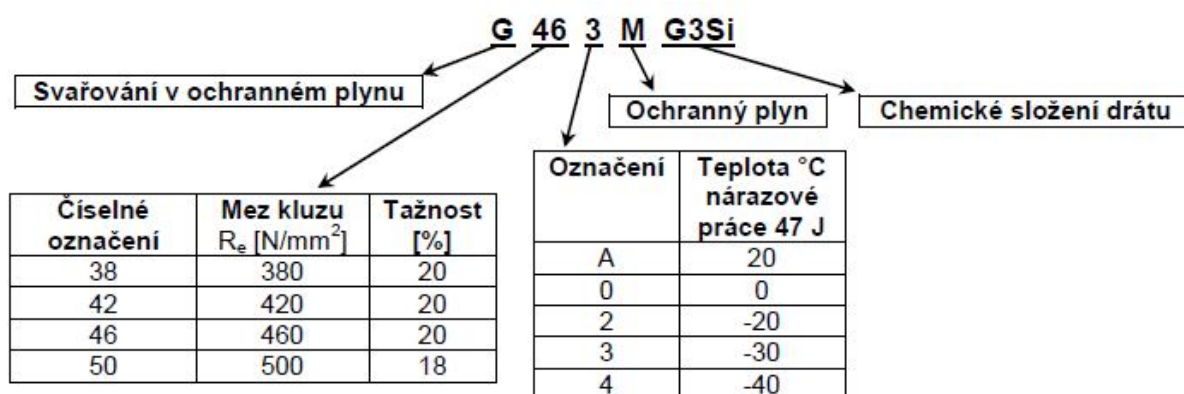
Ochranný plyn svým složením a množstvím ovlivňuje tyto charakteristiky svařování:

- vytvoření ionizovaného prostředí pro dobrý start a hoření oblouku
- metalurgické děje v době tvoření kapky
- při přenosu kapky obloukem a ve svarové lázni síly působící v oblouku
- tvar a rozměry oblouku
- charakter přenosu kovu v oblouku
- tvar a rozměry kapek a rychlost jejich přenášení obloukem
- tvar a rozměry průřezu svaru
- hladkost povrchu svaru a jeho přechod na základní materiál
- kvalitu, celistvost a mechanické vlastnosti svarového spoje

Přídavné materiály

Pro metodu MIG/MAG se vyrábí plné a plněné (trubičkové) dráty. Plné dráty jsou vyráběny a dodávány v průměrech 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,6; 2,0 a 2,4 mm. Nejčastěji používané průměry jsou 0,8 až 1,6 mm. Nejčastěji se dodávají na cívkách s gramáží 15 kg.

Norma ČSN EN ISO 14341 označuje klasifikaci přídavných materiálů pro svařování nelegovaných a jemnozrnných ocelí MIG/MAG takto[10]:

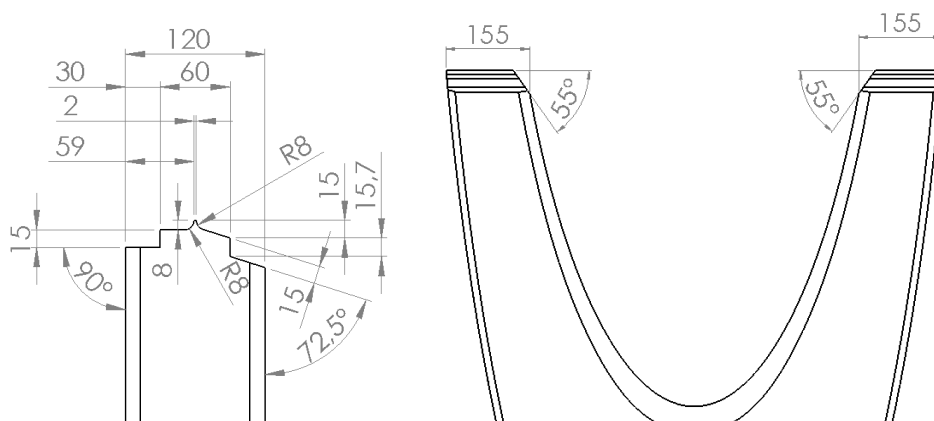


Obr. 25 Značení přídavných materiálů dle ČSN EN ISO 14341[10]
Jako přídavný materiál volím **G 42 3 M21 3Si1**[14].

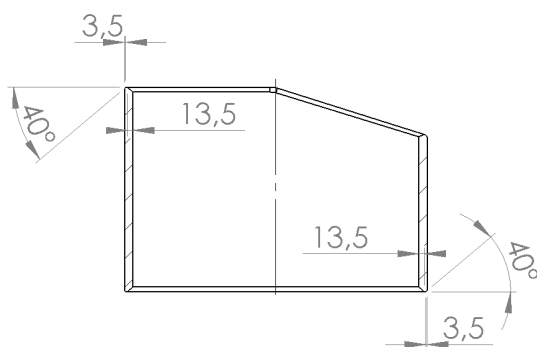
4) NÁVRH ÚPRAVY SVAROVÉ HRANY

Svařované díly by měly být vyrobeny pokud možno ze stejných základních materiálů – nejlépe se **zaručenou svařitelností** a před vlastním svařováním je většinou třeba provést tzv. **úpravu svarové hrany** – připravit svarové plochy – většinou mechanicky obráběním např. frézováním, úhlovou bruskou, kartáčováním apod., aby byly zbaveny oxidů a měly kovově čistý povrch, zejména bez rzi. Při tavném svařování dojde působením tepla k natavení takto vytvořených svarových ploch, k promísení základního kovu s roztaveným přídavným materiálem a vytvoří se nejprve tzv. kořen svaru, na který se postupně kladou další housenky, až se vyplní celý průřez svaru.

Jelikož používáme pro spojení dílců odbočnice metodu tavného svařování, musíme u těchto dílců provést úpravu svarové hrany. Nejpodstatnější úpravu pro svar pak provedeme u elipsového vyztužujícího žebra, které budeme frézovat na CNC obráběcím centru umožňujícím pohyb nástroje v pěti osách. Vyztužující žebro je přivařeno ke kruhovému žebro kombinovaným svarem $\frac{1}{2}$ U o výšce 30mm a následně $\frac{1}{2}$ V svarem o výšce 30mm s odsazením 15mm, proto se musí na žebro v místě spoje provést tvarová úprava (Obr. 26). Vnější hrany jsou pak sraženy 13x45°.



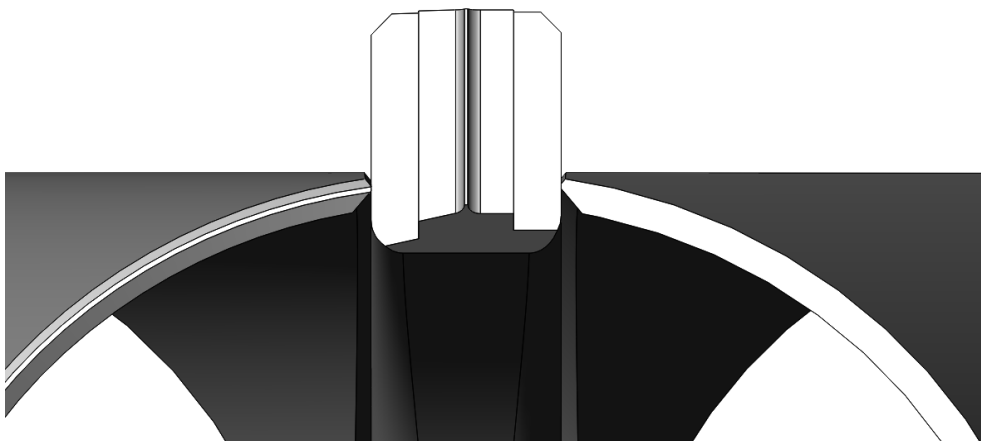
Obr. 26 Úprava svarové hrany vyztužujícího žebra



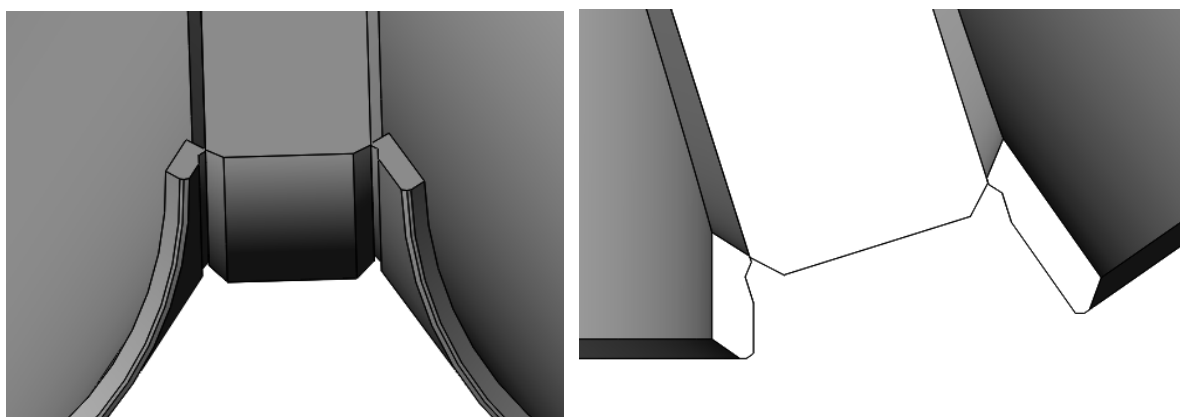
Výstupní potrubí svařence odbočnice je ke kruhovému žeburu přivařeno nesymetrickým oboustranným $\frac{1}{2}$ V swarem s vnější výškou 5mm a vnitřní 15mm a tudíž je třeba na straně svaru provést úpravu hrany pro svar dle obrázku 27. Tato úprava se provede opět v obráběcím CNC centru s možností pohybu nástroje v pěti osách.

Obr. 27 Úprava svarové hrany výstupního potrubí

Pro levé a pravé vstupní potrubí platí v podstatě totožné úpravy svarových hran. Potrubí jsou přivařena jak k vyztužujícímu žebříku i ke kruhovému žebříku oboustranným nesymetrickým $\frac{1}{2}$ V svarem s vnější výškou 5 mm a vnitřní výškou 15 mm. Avšak z důvodu špatné přístupnosti k místu svaru postupně přechází tento $\frac{1}{2}$ V svar (Obr. 28) do specifického V svaru s překrytím, jehož profil je zřejmý z obrázku 29, kde můžeme vidět místo největšího rozevření svaru, jež se nachází přesně v polovině výšky odbočnice. Jelikož se jedná o netypický druh svaru, je požadována úprava svarové hrany, kterou provede pracovník na již zmiňovaném CNC obráběcím centru a před svařením důkladné očištění svarových ploch.

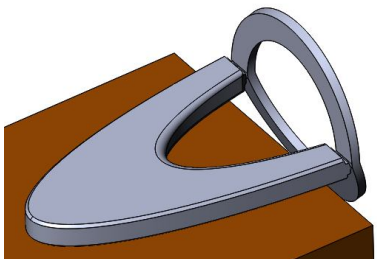
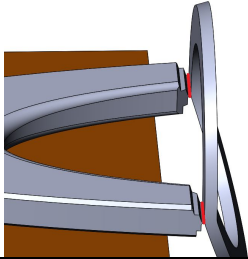
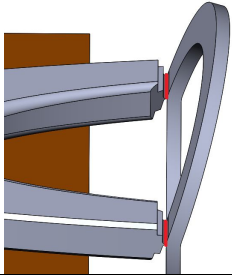
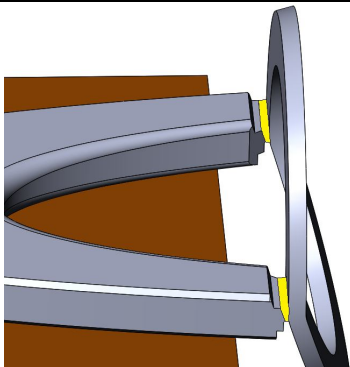


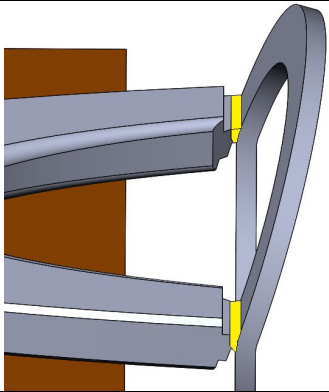
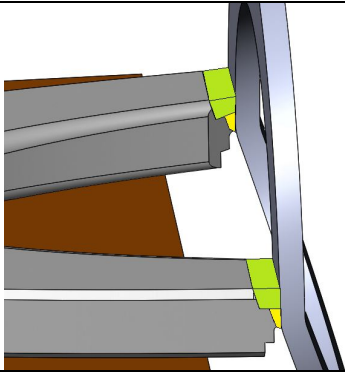
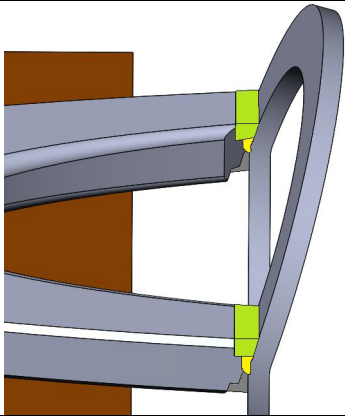
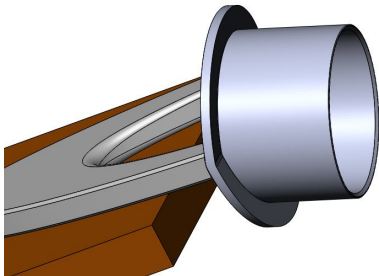
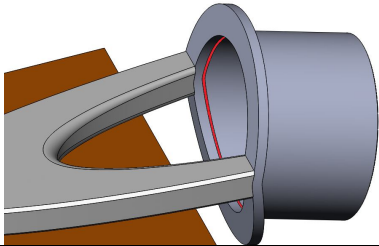
Obr. 28 Znáznornění oboustranného nesymetrického $\frac{1}{2}$ V svaru

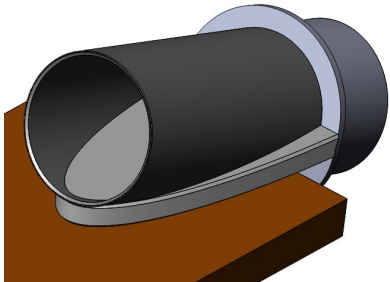
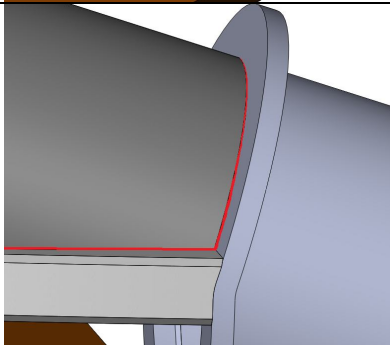
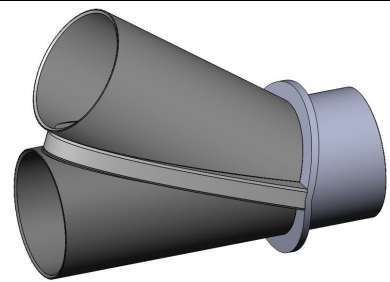
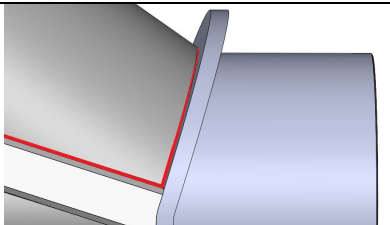


Obr. 29 Znáznornění místa s V svarem (horizontální poloviční řez odbočnicí)

5) VYPRACOVÁNÍ TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU SVAŘOVÁNÍ A WPS

Technologický postup svařování			
Datum: 21. 5. 2014	Vyhotovil: Kepřt Michal	Název součásti: Odbočnice	Číslo výkresu: 2606-3-PT
Operace	Popis činnosti	Podmínky	Vyobrazení
1	Přejímka dílů Kontrola rozměrů		
2	Očistit hranu pro svar		
3	Sestavit a slícovat Pozice 5 a 4		
4	Svařit, kořen svaru		
5	Otočit		
6	Svařit kořen svaru		
7	Otočit		
8	Svařit ½ U svar		
9	Otočit		

10	Svařit ½ U svar		
11	Otočit		
12	Svařit odsazený ½ V svar		
13	Otočit		
14	Svařit odsazený ½ V svar		
15	Kontrola rozměrů		
16	Očistit hranu pro svar, slícovat pozici 1 se svařencem		
17	Svařit oboustranný nesymetrický ½ V svar		

18	Kontrola rozměrů		
19	Očistit hranu pro svar, slícovat pozici 3 se svařencem		
20	Svařit oboustranný nesymetrický ½ V svar		
21	Kontrola rozměrů		
22	Upnout do polohovadla		
23	Očistit hranu pro svar, slícovat pozici 2 se svařencem		
24	Svařit oboustranný nesymetrický ½ V svar		
25	Kontrola rozměrů		
26	Kontrola svarů VT	100%	
27	Kontrola svarů PT	100%	
28	Kontrola svarů UT	100%	
29	Konzervace, expedice		

Vypracované WPS naleznete v příloze této práce.

6) NÁVRH METODIKY KONTROLY SVARU[3,4,13]

Každý kovový materiál obsahuje již od výroby veliké množství submikroskopických vad (na úrovni krystalových mřížek, atomů a zrn), které zcela zásadně ovlivňují jeho vlastnosti. Takovéto vady obsahují všechny technicky vyrobené materiály, proto se zaměřujeme hlavně na vady makroskopické, které jsou snadněji zjištěitelné a které podstatně určují tu část užitečných vlastností, kterou můžeme ovlivnit, například správnou technologii svařování.

6.1) Typy vad a kontroly svarů[3]

Vadou výrobku se obecně rozumí každá odchylka od vlastností předepsaných technickými normami. Vady výrobku mohou být **zjevné**, které lze zjistit při prohlídce výrobku pouhým okem nebo jednoduchými pomůckami nebo **skryté**, které obvykle zjistíme pomocí přístrojů nebo laboratorními zkouškami. Podle ustanovení příslušných předpisů, mohou být vady **přípustné** nebo **nepřípustné**. Vady přípustné jsou takové, které normy dovolují a jejich odstranění není nutné. Vady nepřípustné jsou takové, které neodpovídají povoleným hodnotám. Tyto vady mohou být buď opravitelné, nebo neopravitelné.

Defekty vyskytující se ve svarových spojkách a návarech můžeme rozdělit do dvou hlavních skupin. Jsou to vady **plošné** a **objemové**. Do skupiny plošných vad zařazujeme vady typu trhlin, neprůvarů a studených spojků, do skupiny objemových především vady typu pórů, bublin, kovových i nekovových vměstků, ale také vruby, nedodržení rozměrů a nepravidelnost povrchu svarů.

Kontrola svarů

Zkoušky svarů se provádí za účelem zajištění bezpečnosti, kvality-jakosti daného svarového spoje, volí se vhodný druh zkoušky, kterých může být provedeno na svarovém spoji i více. Zkoušky se řídí podle příslušných norem. Kontrolu svarů (zkoušky svarů) rozdělujeme podle vlivu, který mají na svarový spoj na:

- nedestruktivní (nedochází k porušení svaru)
- destruktivní (s porušením svaru, například jeho rozlomením)

Pro náš případ se jako nejvíce vhodné jeví zkoušky nedestruktivní, jelikož nedestruktivními zkouškami můžeme zkontrolovat svary provedené na sestavě odbočnice bez jejího mechanického poškození. Díky těmto zkouškám zjistíme jak povrchové, tak vnitřní vady svarů a můžeme vyhodnotit jejich kvalitu a bezpečnost vzhledem k danému zatížení odbočnice, z čehož vyplývá, že jsou oproti destruktivním zkouškám pro daný případ vhodnější.

6.2) Nedestruktivní zkoušky[3,4]

Nedestruktivní zkoušky představují důležitý krok při zjišťování jakosti ve všech etapách výroby a provozní spolehlivosti. Význam nedestruktivní kontroly spočívá v zajištění kvality výrobku, jeho technické způsobilosti a funkční bezpečnosti. Základní nedestruktivní metody používané pro kontrolu jakosti svarů dělíme podle toho, zda odhalíme vady na povrchu svaru nebo uvnitř svaru.

K zjišťování povrchových vad se používají metody:

- vizuální – EN 17637
- penetrační (kapilární) – EN ISO 23277
- magnetická prášková - ČSN EN 1290 a ČSN EN 1291

Vnitřní vady se zjišťují metodami:

- prozářením – ČSN EN 12517-1
- ultrazvukem – ČSN EN 1714 a ČSN EN 1712

6.3) Vizuální zkouška (VT) [3,4]

Jedná se o nejjednodušší a zároveň nejdostupnější a nejlevnější defektoskopickou kontrolu svarů, kdy pouhou prohlídkou prostým zrakem nebo v přísnější podobě pomocí zraku a optických přístrojů s několikanásobným zvětšením (lupa), zjišťujeme povrchové defekty a ověřujeme splnění podmínek pro další eventuální nedestruktivní kontrolu.

Podle přístupnosti kontrolovaného povrchu rozlišujeme **vizuální kontrolu přímou** (prováděnou pouhým okem nebo při použití jednoduchých optických pomůcek – lupy) a **nepřímou** (prováděnou za pomoci optických přístrojů např. endoskopy, abychom mohli rozeznat na povrchu detaily, které nejsou přímou vizuální zkouškou pozorovatelné, např. vnitřní povrch svaru nádob).

Základem této zkoušky je několik předpokladů:

- dobře očištěný povrch svaru od strusky, rozstříku apod.
- zkouška by měla být provedena před dalšími technologickými operacemi (např. nátěry)
- dobře přístupný povrch svaru pro vizuální prohlídku
- dobré osvětlení prohlíženého místa přirozeným nebo umělým světlem
- ostrý zrak zkoušejícího, který je schopen rozeznat drobné detaily a od sebe je odlišit

Tato kontrola bývá zpravidla doplněna kontrolou vnějších rozměrů svaru, například měření převýšení svaru (lice i kořene), měření překročení nebo podkročení velikosti koutového svaru, měření úhlu přechodu povrchu svaru a povrchu základního materiálu, měření profilu povrchu svaru, měření hloubky a délky povrchových vad, měření úchylek celého svarového spoje (přesazení) apod.

Závěry a výsledky vizuální zkoušky jsou velmi důležité a mají vždy předcházet všem ostatním kontrolám. Zkušený defektoskopický pracovník již podle vzhledu povrchu jednotlivých vrstev svaru posuzuje jakost práce svářeče a bývá schopen předložit správné závěry o možnosti výskytu vnitřních vad (povrch svaru je nepravidelný, jsou zřetelně vidět místa napojování housenek, je různá šířka krycí housenky, je velmi odlišný povrch svaru v různých polohách...). Vizuální hodnocení má následovat po každé dílčí části svařovacího procesu, jehož provedení je spojeno s určitými těžkostmi. V případech dílčí pochybnosti může být vizuální zkouška účelně doplněna magnetickou nebo např. kapilární zkouškou.

6.4) Penetrační-kapilární zkouška (PT) [3,4]

Tato zkouška umožňuje zjišťovat povrchové vady, které však musí souviset s povrchem, to znamená, že musí být na povrchu otevřené, aby do nich mohla vniknout tekutina odhalující danou vadu. Je založena na vztlínivosti určitých kapalin (např. petroleje) do otevřených dutin v materiálu. Využívá se při ní kapilárních jevů, především smáčivost a vztlínivost.

Metoda má tyto časové fáze zkoušení. První spočívá v dokonalé přípravě povrchu, umytím a odmaštěním zkoušeného povrchu. Druhá je nanesení zkušební kapaliny na zkoušený povrch (aplikace detekční tekutiny se pro menší svařence provádí ponořením do lázně, u větších pak natíráním nebo nastříkáním - kapalina zateče do dutin vad), doba působení bývá 10 – 30 minut. Třetí fází je odstranění přebytku penetrantu umytím povrchu (většinou proudem vody) od zkušební kapaliny. Jedná se o poměrně kritickou operaci, jelikož nedostatečné odstranění kapaliny vede k výskytu nepravých indikací, avšak příliš důkladné vymývání vede k vyplavení detekční kapaliny z vad). Následuje sušení povrchu a vyvolání indikace, nanesením „vývojků“ (tzn. vytvoření kontrastního a nasákavého podkladu pro kapalinu vztlínající z dutin vady a zajišťuje lepší viditelnost vady). Základem vývojek je bílý prášek, např. oxid zinečnatý, nejčastěji rozptýlený v těkavém rozpouštědle, např. acetonu. Poslední fází je prohlídka zkoušeného povrchu a případné posouzení a vyhodnocení indikovaných vad. Velmi důležité je dodržovat správný postup zkoušení a před kontrolou je důležité důkladné očištění a odmaštění povrchu svarového spoje.

Podle detekčních prostředků rozeznáváme:

- **metodu barevné indikace** - přítomnost vady se projeví vznikem kontrastní barevné indikace, hodnocení se provádí na denním světle – nejjednodušší je zkouška petrolejem, kdy se vada projeví mastnými skvrnami na povrchu naneseného povlaku z vápna
- **metodu fluorescenční** - zkušební kapalina je pro zvýšení citlivosti fluoreskující a vada se projeví světélkující indikací při ozáření ultrafialovým světlem
- **metodu dvouúčelovou** - kdy použitý penetrant obsahuje fluorescenční látku, která je zároveň barvivem

Hodnocení je subjektivní a vyžaduje zkušenosti. Výhodou této metody je nenáročnost, nízká cena a snadná indikace vad. Nevýhodou je odhalení pouze vad spojených s povrchem, potřeba čistého a hladkého povrchu (R_a 3,2 μ m), nestálost výsledků (vady je třeba hledat brzy po nanesení vývojky, po delší době mohou malé vady zmizet, velké se zase rozpíjí a jeví se větší) a obtížná registrace vad. Tuto metodu lze aplikovat u všech materiálů (magnetických i nemagnetických) a lze zkoušet i těsnost tlakových nádob. I tato zkouška se doplňuje zkouškami prozářením nebo ultrazvukovou zkouškou.

6.5) Zkouška magnetická prášková (MT) [3,4,13]

Tato metoda umožňuje zjišťovat povrchové vady, nebo vady skryté těsně pod povrchem (max. do 3 mm). Její princip je založen na zviditelnění magnetických siločar vystupujících na povrch feromagnetických materiálů (což je určité omezení této metody – feromagnetické jsou např. nelegované a legované oceli kromě ocelí austenitických). Pokud se na povrchu, nebo těsně pod ním, vyskytuje vada ve zkoušeném materiálu (která není feromagnetická, např. trhlina, struska, bublina), tak magnetické siločáry „obcházejí“ tuto vadu a uzavírají se vzduchem a vystupují nad povrch materiálu, kde tvoří tzv. rozptylové magnetické pole.

Princip je založen na zjišťování rozptylu magnetického toku, který vznikne ve zmagnetovaném feromagnetickém materiálu v místě necelistvostí (trhlin), nebo náhlé změny magnetických vlastností (struska). Vystupující siločáry lze zviditelnit například jemným železným prachem, který může být rozptýlený suchý, nebo ve vhodné kapalině (např. petrolej) – tzv. **polévací zkouška**. V místě, kde vycházejí siločáry z povrchu zkoušeného svaru, dojde k ulpění železného prachu a tím k zobrazení umístění vady. V neporušených místech železný prach neulpí a steče dolů. V místě vzniklého rozptylového pole je prášek přitahován a vytváří zřetelnou stopu, která je obrysem vady. Pro lepší kontrast a zvýšení citlivosti metody natíráme zkoušený povrch bílou barvou, nebo železný prach zbarvíme fluoreskující barvou, která po osvětlení ultrafialovým světlem intenzivně září.

Zkoušený předmět magnetizujeme buďto průchodem elektrického proudu (stejnoseměrného nebo střídavého), potom se jedná o tzv. **magnetování proudové**, nebo elektromagnetem ve tvaru jha (zkoušený předmět je vkládán mezi dva póly magnetu, viz Obr. 26), tzv. **magnetování pólové**. Směr průchodu proudu, nebo směr magnetických siločar by měl být pokud možno kolmý k rovině předpokládané vady, tehdy je metoda nejúčinnější. Proto v praxi magnetujeme nejméně ve dvou na sebe kolmých směrech, abychom odhalili co nejvíce vad. Výhodou magnetické zkoušky je rychlost, malé náklady na zařízení, snadná obsluha a schopnost odhalit vady skryté těsně pod povrchem. Nevýhodou je práce se špinící kapalinou, možnost opálení povrchu při magnetizaci průchodem proudu, obtížná zjistitelnost malých a oblých vad. Obtížný je i záznam výsledku zkoušky.



Obr. 26 Ruční elektromagnet jha[13]

6.6) Zkouška ultrazvuková (UT) [3,4,13]

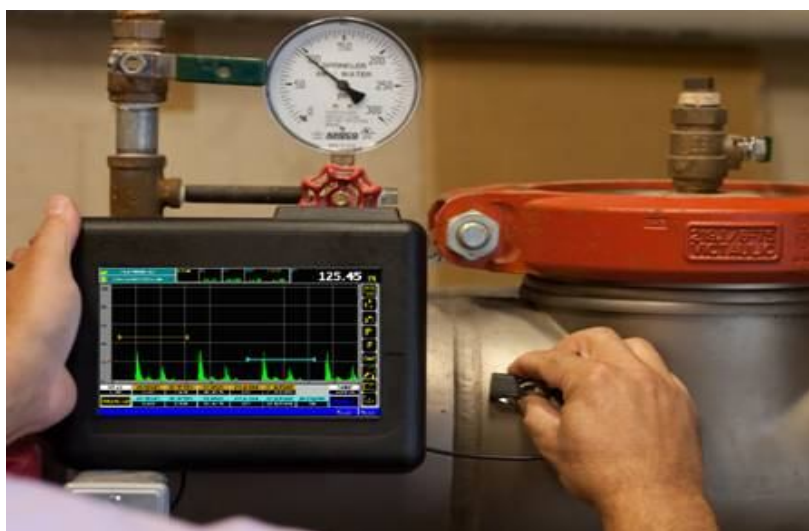
Tato zkouška je založena na principu odrazu vlnění na rozhraní dvou prostředí, která mají odlišné vlastnosti při šíření tohoto vlnění. Mechanické vlnění se šíří celistvým prostředím určitou rychlostí, která je závislá především na druhu prostředí a na frekvenci vlnění. Pokud se náhle změní druh prostředí, změní se náhle i poměry v šíření vlnění na rozhraní dvou různých prostředí. Říkáme, že se vlnění láme nebo odráží. Konstatujme tedy, že tato metoda je založena na principu šíření akustického vlnění zkoušeným předmětem, jeho reakci na změny ve zkoušeném předmětu a následnou registraci.

Zdroje ultrazvukových impulsů jsou ultrazvukové zkušební sondy, jejichž základním prvkem je elektroakustický měnič. Tyto měniče mění elektrický signál na mechanický a nejčastěji se používají měniče piezoelektrické. Podle druhu vln, které sonda vysílá a přijímá, se dělí sondy na přímé a úhlové.



Obr. 27 Zkušební sondy, a) úhlové; b) přímé s ochranou membránou[13]

Jako indikátor se používá defektoskop s obrazovkou, na jejímž stínítku se zobrazují vysílané a přijímané impulsy. V okamžiku vysílání se na obrazovce objeví vysílací impuls (počáteční echo) a koncové echo. Mezi nimi jsou potom případná echa signalizující vadu v kontrolovaném výrobku. Vzdálenost mezi počátečním a koncovým echem je přímo úměrná tloušťce základního materiálu.



Obr. 28 Defektoskop od firmy Danatronics iFlaw v praxi[13]

Nejjednodušší metodou zkoušení ultrazvukem je **metoda průchodová**. Vady v materiálu jsou bariérou, za níž se vytvoří ultrazvukový stín, tj. akustický tlak procházející ultrazvukové vlny se sníží. Na dvou protilehlých površích se do jedné osy umístí vysílací a přijímací sonda. Základem metody je měření množství ultrazvukové energie, která projde zkoušeným svarem. Pokud je mezi vysílačem vada, akustický tlak poklesne a tím zjistíme, že je v materiálu vada. Průchodová metoda je vhodná pro výrobky menších tloušťek s rovnoběžnými povrchy přístupnými z obou stran. Nevýhodou je nemožnost odlišit, zda pokles akustického tlaku je v důsledku vady nebo nedokonalým akustickým navázáním. Další nevýhodou je nutnost použít dvou oddělených ultrazvukových sondy, které musí být umístěny v jedné ose.

Nejpoužívanější je tzv. **metoda odrazová – impulsová**. Je všestranně použitelná a získané informace touto metodou jsou nejen o vadách, ale i o struktuře materiálu, rozměrech atd. Princip metody spočívá ve vysílání krátkého ultrazvukového impulsu, který se ve zkoušeném materiálu odráží od všech rozhraní (vad i povrchů), vrací se zpět do sondy a časový průběh je zobrazen na obrazovce. Generátor tedy vybudí ultrazvukovou sondu vysílající a přijímající ultrazvukové impulsy, která je akusticky navázaná na zkoušené prostředí. Generátor je spouštěn synchronizátorem současně se zdrojem časové základny, která se přivádí na horizontální vychylovací destičky obrazovky. Na její vertikální vychylovací systém je připojen výstup zesilovače. Impulsová odrazová metoda podává informaci o vzdálenosti odrazové plochy podle zpoždění, s nímž se odražený impuls (echo) vrátí do sondy a o velikosti odrazové plochy podle výšky echa. Výhodou této metody je využití pro kontrolu výrobků přístupných jen z jedné strany, jelikož signál lze vysílat i přijímat pomocí jedné sondy.

Ultrazvukem dokážeme dobře identifikovat vady plošného charakteru, kdy rovina vady je přibližně kolmá na směr šíření signálu. Obtížně zjistitelné jsou vady objemové, např. bubliny, póry a plošné vady umístěné rovnoběžně ve směru vlnění. Nelze téměř vůbec posoudit typ vady, je možné pouze stanovit, že se jedná o nějakou vadu a přibližně určit velikost dané vady. Z této vlastnosti je patrné, že zjistitelnost vad u zkoušky prozařováním a ultrazvukem se velmi dobře doplňuje. Proto se často používá kombinace těchto dvou metod. Výhodou ultrazvuku je v podstatě okamžitý výsledek zkoušky, nízká cena zkušebního zařízení, než u prozařování a snadné zkoušení velkých tloušťek. Vzhledem k charakteru metody, ji můžeme také používat k měření tloušťek, případně ke zjišťování změny tloušťky. Nejsou také potřeba žádná zvláštní a nákladná bezpečnostní opatření oproti prozařování. Kontrolující pracovník musí mít velmi dobré zkušenosti, aby byly výsledky hodnověrné. Nevýhodou je obtížné, spíše nemožné rozpoznání druhu vady a výsledky nejsou zpravidla dokumentovány, jelikož neexistuje trvalý záznam obrazu vady.

6.7) Návrh nedestruktivní kontroly svarů odbočnice

Pro kontrolu svarů na sestavě odbočnice byly zvoleny nedestruktivní metody kontroly svarů, z důvodu zachování a nezničení vyrobeného kusu, konkrétně pak vizuální kontrola, penetrační kontrola a kontrola za pomoci ultrazvuku. Tyto zkoušky jsou dostačující z hlediska bezpečnosti a funkčnosti svarů. Hlavní je zkouška ultrazvukem, která by měla zajistit odhalení vnitřních vad svarů. Vnější vady svarů pak odhalí vizuální a penetrační zkoušky. Jako další možná zkouška by v úvahu připadala zkouška prozářením, avšak to by značně prodražilo výrobní náklady (zkoušky) sestavy odbočnice, proto se zkouška prozářením nevyžaduje.

7) ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce byl návrh konstrukce, výpočet pomocí MKP, návrh technologie výroby svařování, vypracování technologického postupu, WPS a následně návrh zkoušek svarů pro odbočnici přívodního potrubí jedné z peltonových turbín v Rumunském hydroenergetickém komplexu Resita.

Vzhledem k zadané hodnotě tlaku vody (5,1 MPa) působícího na vnitřní stěny odbočnice bylo zvoleno vstupní i výstupní potrubí odbočnice o nominálním průměru DN 700 s tloušťkou stěny 20mm od firmy TUBISPA. Pro samotný konstrukční návrh odbočnice byly jako výchozí předběžné simulační pevnostní výpočty, jejichž výsledky dopomohly k volbě tvaru a tloušťky vyztužujícího elipsového žebra (tl. 120 mm). Pro rozměry a tvar kruhového žebra pak byly určující rozměry dle výšky elipsového žebra a vnitřního průměru výstupního potrubí.

Pro pevnostní výpočet byl využit program SolidWorks® Professional 2013 a jeho doplňkový modul lineárně statické analýzy, který simuluje chování dílů při daném zatížení. Díky tomuto výpočtu pak můžeme říct, že daný navržený díl (sestava dílů) bude bez jakéhokoli mechanického poškození funkční. Maximální hodnota napětí dle daných parametrů pro uzavřený stav odbočnice v uzlech prvků činí 163,7 MPa a ve středu prvků 132,9 MPa. Pro otevřený stav je hodnota totožná pro uzly prvků, avšak působí v jiném místě a ve středu prvku pak činí 157,1 MPa. Tyto hodnoty zatížení jsou nižší než hodnota dovolená a tak můžeme predikovat, že takto dimenzovaná odbočnice pro dané zatížení vyhovuje.

Při volbě technologie svařování odbočnice pak volím po konzultaci se svářecím technologem jako nejvhodnější metodu tavného svařování v aktivním plynu MAG (135). Jako přídatný materiál pak volím G 42 3 M21 3Si1, s označením OK Autrod 12.15 o průměru 1,2 mm dle katalogu firmy ESAB. Příváděný plyn pak volím M21 (72% argon + 18% CO₂).

Jelikož se jedná o výrobu svařované součásti, je třeba v místě svaru provést úpravu svarové hrany. Všechny dílce odbočnice kromě kruhového žebra, jsou obráběné a to na CNC obráběcím centru s možností pohybu nástroje v pěti osách, z důvodu složitých tvarových úprav, jako jsou zkosení hran přívodních potrubí ve tvaru elipsy a také tvar v místě svaru elipsového žebra s kruhovým žebrem.

Jako závěrečná byla navržena metodika kontroly svarů. Jelikož se jedná o svařenec, který bude využit v hydroenergetickém průmyslu, není možné dovolit jakékoli vady svaru jak na povrchu tak uvnitř. Proto byla zvolena vizuální kontrola, při které pracovní zkontroluje vnější povrchové vady svarů pouhým okem, dále pak penetrační kapilární zkouška odhalující taktéž vnější povrchové vady a jako nejdůležitější pak zkouška ultrazvuková, při níž dojde k nalezení vnitřních vad ve svarech, jako jsou bubliny nebo jiné materiálové vady.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BOHDAN BOLZANO, s.r.o. *Přehled vlastností oceli S355J2*. [online]. [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: <http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/techprirI/tycovaocel/EN10025/S355J2G3/>
- [2] BURSA, Prof. J. VUT BRNO. *Studijní opory PP2: Appendix B. MKP* [online]. Brno, 2007 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: http://www.umt.fme.vutbr.cz/~jbursa/Stud_opory/MKP4.pdf
- [3] ČVUT PRAHA. *Hodnocení kvality svarového spoje: Teoretický úvod k cvičení z předmětu Technologie I* [online]. 2005 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TE1/def_kontrola_sv.pdf
- [4] DOLEJSKÝ, T. *Základní kurz svařování metodou 135*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 79 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaroslav Kubíček. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=38474
- [5] ESAB VAMBERK, s.r.o. *Katalog výrobků 2012* [online]. 2012 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.esab.cz>
- [6] HYDROPOL PROJECT & MANAGEMENT, a.s. [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://hydropol.cz/czech.php>
- [7] KOVAŘÍK, R. a F. ČERNÝ. [online]. ZČU v Plzni, 2000 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.kmm.zcu.cz/Benesova/Skriptasvarovani.doc>
- [8] KUBÍČEK, J. VUT BRNO. *TECHNOLOGIE II ČÁST SVAŘOVÁNÍ: Díl 1 ZÁKLADNÍ METODY TAVNÉHO SVAŘOVÁNÍ* [online]. Brno, 2007 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/technologie_2__svarovani/technologie_2__svarovani_tavne.doc
- [9] KUBÍČEK, J. VUT BRNO. *TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ* [online]. Brno, 2002 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/technologie_2__svarovani/technologie_2__svarovani_tavne.doc
- [10] KURCIK, J. *Svařování* [online]. 2011 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://techstroj.g6.cz/T/T08.pdf>
- [11] Lineárně statická analýza. LANETE, spol. s r.o. [online]. 2006-11. [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: <http://www.lanete.cz/15138/linearne-staticka-/>
- [12] Metoda konečných prvků: studijní text [online]. 2011 [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: www.vutbr.cz/www_base/priloha.php?dpid=52476
- [13] PTS JOSEF SOLNAŘ s.r.o. [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <https://www.ptsndt.com/index.php/cs/>
- [14] ŠPANIEL, M. ČVUT. *Modelování konstrukcí metodou konečných prvků* [online]. 2. 3. 2009. Praha, 2009 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://mechanika2.fs.cvut.cz/old/pme/predmety/mmkp/podklady/mod.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

OZNAČENÍ	VÝZNAM	JEDNOTKA
DN	Jmenovitý vnitřní průměr potrubí	[mm]
R _a	Aritmetická drsnost	[μm]
R _e	Mez kluzu	[MPa]
σ _D	Dovolené napětí	[MPa]

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA 1: Tabulka porovnání vlastností ochranných plynů

PŘÍLOHA 2: Tabulka vlastností přídavného materiálu, ESAB VAMBERK, s.r.o.

PŘÍLOHA 3: Rozdělení plynů dle chemického charakteru – ČSN EN ISO 14 175

PŘÍLOHA 4: WPS-2603-3-PT-1

PŘÍLOHA 5: WPS-2603-3-PT-2

PŘÍLOHA 6 : WPS-2603-3-PT-3

PŘÍLOHA 1: Tabulka porovnání vlastností ochranných plynů

Vlastnosti	Ar + CO ₂	Ar + O ₂	CO ₂
Závar <ul style="list-style-type: none">• normální poloha• nucená poloha	dobry spolehlivější s rostoucím % CO ₂	dobry může být kritický z důvodu předbíhání svarové lázně	dobry spolehlivý
Tepelné zatížení hořáků	vysoké, snižuje se s rostoucím % CO ₂	vysoké, výkon může být omezen, jestliže je hořák příliš horký	nizké díky dobré tepelné vodivosti
Stupeň oxidace	nizký, stoupá s rostoucím % CO ₂	výrazně závisí na obsahu O ₂ (1 – 8%)	vysoký
Porozita	snizuje se s rostoucím obsahem CO ₂	vysoká citlivost	spolehlivá
Přemostitelnost mezery	zlepšuje se s poklesem % CO ₂	dobrá	horší než u směsných plynů
Tvorba rozstříku	stoupá s rostoucím % CO ₂	téměř bez rozstříku	vysoká, stoupá s rostoucím výkonem
Vnášení tepla do svaru	stoupá s rostoucím % CO ₂ nižší rychlost ochlazování menší nebezpečí vzniku trhlin	nejnižší vysoká rychlost ochlazování, nebezpečí vzniku trhlin větší	vysoké malá rychlost ochlazování, nebezpečí vzniku trhlin malé
Typ přenosu kovu obloukem	všechny typy	všechny typy	zkratový, kapkový

PŘÍLOHA 2: Tabulka vlastností přídatného materiálu, ESAB VAMBERK, s.r.o.



OK Autrod 12.51

SFA/AWS A 5.18: ER 70S-6
EN ISO 14341A: G 3Si1

Použití:

Pro svařování nelegovaných konstrukčních ocelí, pro výrobu tlakových nádob s pevností do 530 MPa a jemnozrných ocelí s mezí kluzu do >420 MPa. Drát umožňuje svařování vysokým proudem (sprchový proces) a má krátký přenos oblouku v poloze vodorovné i mimo ni. Drát je dodáván i ve velkokapacitním balení MARATHON PAC™ (platí pro průměr 0,8, 1,0 a 1,2 mm).

Vhodnost pro svařování, napí:

P 235/S 235 až P 420/S 420

Klasifikace, certifikace:

CE EN 13479
ABS 3YSA
BV SA 3YM
DB 42.039.06
DNV III YMS
GL 3YS
LR 3S, 3YS
TÜV 00899
další: PRS, RS

Ochranný plyn (EN ISO 14175):

M21, C1

Klasifikace svarového kovu:

EN ISO 14341-A: G 38 2 C1 3Si1
G 42 3 M21 3Si1

Svařovací proud:



Typické chemické složení drátu (%):

C	Si	Mn
0,09	0,90	1,50

D

Polohy svařování:



Typické mechanické hodnoty čistého svarového kovu:

Podmínky	Stav	Plyn	R _m MPa	R _{el} (R _{p0.2}) MPa	A ₅ /(A ₄) %	KV (J)/°C			
						+20	-20	-30	-29
EN	TZ 0	M21	560	470	26	130	90	70	
EN	TZ 1	M21	495	370	28	120	90		
EN	TZ 2	M21	455	310	32	100	75		
EN	TZ 0	C1	540	450	25	110	70		
AWS	TZ 0	C1	>480	(>400)	(>22)				>27

TZ 0 - stav po svařování, TZ 1 - stav po žhání 620°C/15 h, TZ 2 - stav po norm. žhání 920°C/0,5h.

Svařovací parametry a orientační výkonové hodnoty:

Ø d (mm)	Proud (A)	Napětí (V)	Výtěžnost svar. kovu g/100g drátu	Spotřeba plynu (l/min)	Rychlost podávání (m/min)	Výkon svařování (kg/h)
0,6	30 - 100	15 - 20	95	12	5,5 - 13,0	0,7 - 1,7
0,8	60 - 200	18 - 24	95	14	3,2 - 13,0	0,8 - 3,0
1,0	80 - 300	18 - 32	96	16	2,7 - 15,0	1,0 - 5,6
1,2	120 - 380	18 - 34	97	18	2,5 - 15,0	1,3 - 8,0
1,6	225 - 550	28 - 38	98	20	2,3 - 12,0	2,1 - 11,4

PŘÍLOHA 3: Rozdělení plynů dle chemického charakteru – ČSN EN ISO 14 175

Tab 6.1 Rozdělení plynů dle chemického charakteru – norma ČSN EN ISO 14 175
Prvky v objemových procentech

Označení		Oxidační				Redukční	Malá reakt.	Poznámka
Skupina	Podskupina	CO ₂	O ₂	Ar	He	H ₂	N ₂	
I	1			100	100			Inertní
	2			zbytek	0,5 ≤ He ≤ 95			Mírně oxidační
	3			zbytek		0,5 ≤ H ₂ ≤ 5		
M 1	1	0,5 ≤ CO ₂ ≤ 5		zbytek				
	2	0,5 ≤ CO ₂ ≤ 5		zbytek				Středně oxidační
	3		0,5 ≤ O ₂ ≤ 3	zbytek				
	4	0,5 ≤ CO ₂ ≤ 5	0,5 ≤ O ₂ ≤ 3	zbytek				
M 2	0	0,5 ≤ CO ₂ ≤ 15		zbytek				Silně oxidační
	1	15 ≤ CO ₂ ≤ 25		zbytek				
	2		3 ≤ O ₂ ≤ 10	zbytek				
	3	0,5 ≤ CO ₂ ≤ 5	3 ≤ O ₂ ≤ 10	zbytek				
	4	5 ≤ CO ₂ ≤ 15	0,5 ≤ O ₂ ≤ 3	zbytek				
	5	5 ≤ CO ₂ ≤ 15	3 ≤ O ₂ ≤ 10	zbytek				
	6	15 ≤ CO ₂ ≤ 25	0,5 ≤ O ₂ ≤ 3	zbytek				
	7	15 ≤ CO ₂ ≤ 25	3 ≤ O ₂ ≤ 10	zbytek				
M 3	1	25 ≤ CO ₂ ≤ 50		zbytek				Silně oxidační
	2		10 ≤ O ₂ ≤ 15	zbytek				
	3	25 ≤ CO ₂ ≤ 50	2 ≤ O ₂ ≤ 10	zbytek				
	4	5 ≤ CO ₂ ≤ 25	10 ≤ O ₂ ≤ 15	zbytek				
	5	25 ≤ CO ₂ ≤ 50	10 ≤ O ₂ ≤ 15	zbytek				
C	1	100						Redukční
	2	zbytek	0,5 ≤ O ₂ ≤ 30					
R	1			zbytek		0,5 ≤ H ₂ ≤ 15		Redukční
	2			zbytek		15 ≤ H ₂ ≤ 50		
N	1			zbytek			100	Redukční
	2			zbytek			0,5 ≤ N ₂ ≤ 5	
	3			zbytek			0,5 ≤ N ₂ ≤ 50	
	4			zbytek		0,5 ≤ H ₂ ≤ 10	0,5 ≤ N ₂ ≤ 5	
	5			zbytek		0,5 ≤ H ₂ ≤ 50	zbytek	
O	1		100					Silně oxidační
Z		Směsi plynů obsahující neuvedené složky nebo směsi se složením mimo uvedený rozsah						

Tato směs má nejmenší index oxidačního účinku 1 resp. 2 a nemá nauhličující charakter. Bez nauhličujícího účinku se zvýšeným oxidačním účinkem (index 3 – 5) se pro svařování feritických ocelí používá směs Ar + 3 až 5 % O₂. Ve skupině směsných plynů „M2“ jsou nejpoužívanější plyny pro MAG svařování. Často používaná dvojsložková směs plynů typ Ar + 20 % CO₂, má oxidační účinek podobný jako u směsi Ar + O₂ (index 2). Argon s oxidem uhličitým má však nauhličující účinek. Používá se pro uhlíkové a nízkolegované oceli. Trojsložková směs na svařování tenkých plechů je Ar + 5% O₂ + 15%CO₂ a má výrazný oxidační účinek – index 6,5. Nejvyšší oxidační účinek (index 10) má čistý CO₂ označený skupinou „C“. Má i výrazný nauhličující účinek a jeho využití má klesající tendenci. V ochranném plynu CO₂ probíhají chemické reakce v širokém rozmezí podmínek svařování tak, že rovnovážný stav uhlíku ve svarovém kovu se ustálí v rozmezí 0,10 – 0,15 % bez

PŘÍLOHA 4: WPS-2603-3-PT-1

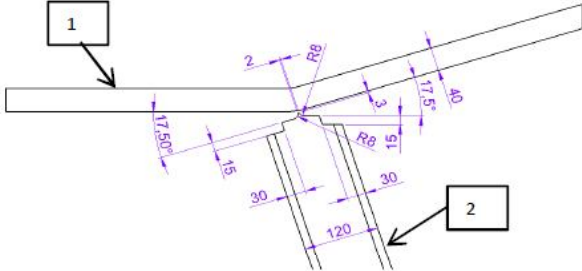
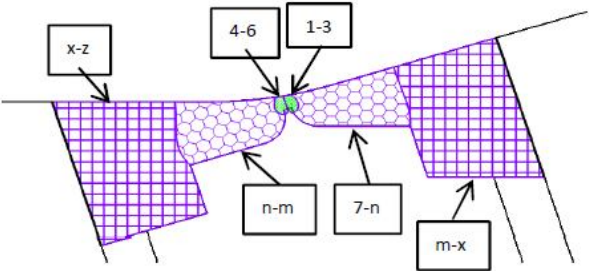
D&C Blansko	WPS	Welding Procedure Specification specifikace svařovacího postupu	WPS No./č.: WPS-2603-3-PT-1	Rev.: 0
			Date/Datum 22.5.2014	Pg./Str.: 1/1

Welding Process/Metoda: 1. 135 2. Type of Weld/Typ svaru: BW - 1/2 U + odsazený 1/2 V Backing/Podložka: N.A. Other/Ostatní: Welder Svářeč	Supporting/Související
---	-------------------------------

Base metal / Základní materiál: Material 1: S 355 J2 EN10025-2 Group: 1.2 Outside Dia./Vnější Thickness/Tloušťka: 40 mm Material 2: S 355 J2 EN10025-2 Group/Sk.: 1.2 Outside Dia./Vnější Thickness/Tloušťka: 120 mm Remark/Poznámka:				
---	--	--	--	--

Filler Material / Svařovací materiál: Classification: 1. EN ISO 14 341A, G 42 3 M21 3Si1 Klasifikace: EN ISO 14 341A, G 42 3 M21 3Si1 Designation: 1. OK Autrod 12.51 Označení: OK Autrod 12.51 Size/Průměr: 1. 1,2 mm 2. Name-Type of Flux/Uměno-tyt tavidla: Drying of F.M./Sušení svař. mat.: 1. °C 2. Replace/Náhrada: 1. 2. Remark/Poznámka:	Gas / Plyn: 15-18 l/min % l/min Shielding/O. svaru: 1. Ar+18%CO2 M21 2. Backing/O. kořene: 1. N.A. 2. Trailing/Dodatečná: 1. N.A. 2. Remark/Poznámka: EN ISO 14175
--	--

Joint Design / Tvar spoje:	Welding Sequences / Postup svařování:
-----------------------------------	--

Preheat / Předehřev: Preheat Temp./Teplota předehřevu: N.A. °C Interpass: °C Post Heating/Dohřev: N.A. °C h Cooling After W./Ochlazení po d: still air Temp. Control/Kontrola teploty: klidný vzduch Remark/Poznámka:					
---	--	--	--	--	--

Post Weld Heat Treatment / Tepelné zpracování po svařování: Type/Typ: N.A. Temperature/Teplota: °C Time/Čas: min. Heating Rate/Rychlost ohřevu: °C/h Cooling Rate/Rychlost ochlazení: °C/h Remark/Poznámka:					
--	--	--	--	--	--

Technique / Technika svařování: Tungsten El./Wolframová elektroda: φ mm Type - Type of Bead/Tvar houseni: 1. string - rovná 2. Edge Preparation/Příprava úkosu: machined / obráběné Weaving / Rozkvy: 1. N.A. 2. Method of Cleaning/Metoda čištění: mechanical / mechanicky Pulsing/Pulzace: 1. N.A. 2. Method of Back Gouging/Drážkování kořene: mechanical / mechanicky Oscillation/Oscilace: 1. N.A. 2. Remark/Poznámka:					
--	--	--	--	--	--

Welding Parameters / Svařovací parametry:								
Layer(s) Vrstva	Process Metoda	Filler Material/Svařovací materiál φ (mm) Classification/Klasifikace	Type/Polarity Typ / Polarita	Amperage/Power (A)	Voltage/Napětí (V)	Travel Speed (cm/min) Rychlost posuvu (cm/min)	Heat input (kJ/mm) Tepelný příkon(kJ/mm)	
1-3	135	1,2 OK Autrod 12.51	DC/+	180-200	19-20	30	0,58-0,68	
4-6	135	1,2 OK Autrod 12.51	DC/+	180-200	19-20	30	0,58-0,68	
7-n	135	1,2 OK Autrod 12.51	DC/+	260-320	27-29	25	1,43-1,89	
n-m	135	1,2 OK Autrod 12.51	DC/+	260-320	27-29	25	1,43-1,89	
m-x	135	1,2 OK Autrod 12.51	DC/+	280-340	28-30	20	2-2,6	
x-z	135	1,2 OK Autrod 12.51	DC/+	280-340	28-30	20	2-2,6	

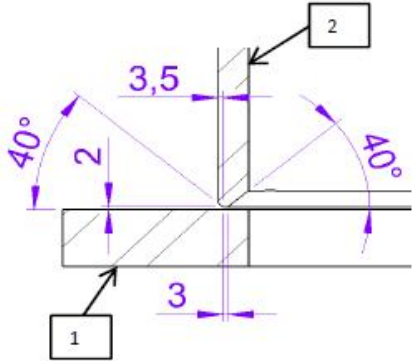
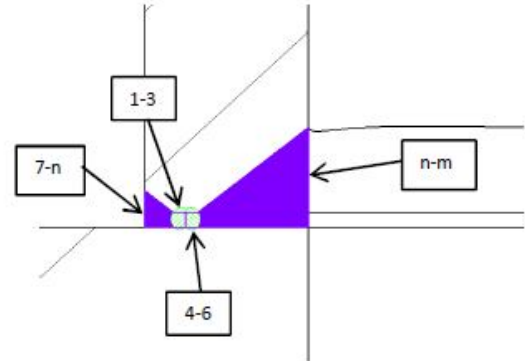
Remarks / Poznámky: Tack welding shall be performed accordance with WPS. Not Peening during and after welding.

Prepared (Name, Date, Signature): **22.5.2014**
 Přípravil (jméno, datum, podpis): **Michal Kepř**

Approved (Name, Date, Signature):
 Schválil (jméno, datum, podpis) **Ing. Jaroslav Kubiček**

PŘÍLOHA 5: WPS-2603-3-PT-2

D&C Blansko	WPS	Welding Procedure Specification specifikace svařovacího postupu	WPS No./č.: WPS-2603-3-PT-2	Rev.: 0
			Date/Datum 22.5.2014	Pg./Str.: 1/1

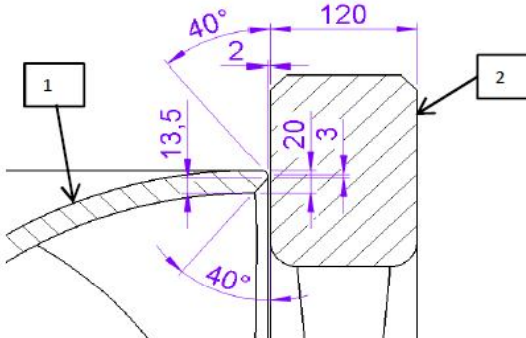
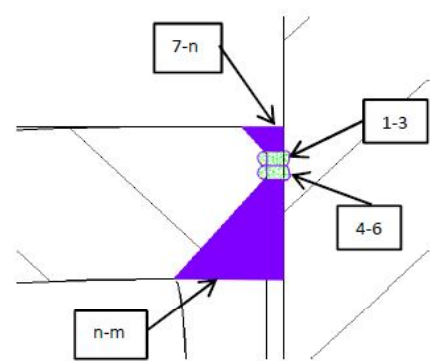
Welding Process/Metoda: 1. 135 2. Type of Weld/Typ svaru: BW - nesymetrický oboustranný 1/2 V Backing/Podložka: N.A. Other/Ostatní: Welder Svářeč	Supporting/Související																																																																																
Base metal / Základní materiál: Material 1: S 355 J2 EN10025-2 Group: 1.2 Outside Dia./Vnější Thickness/Tloušťka: 40 mm to/k Material 2: S 355 J2 EN10025-2 Group/Sk.: 1.2 Outside Dia./Vnější Thickness/Tloušťka: 20 mm Remark/Poznámka:																																																																																	
Filler Material / Svařovací materiál: Classification: 1. EN ISO 14 341A, G 42 3 M21 3Si1 Klasifikace: EN ISO 14 341A, G 42 3 M21 3Si1 Designation: 1. OK Autrod 12.51 Označení: OK Autrod 12.51 Size/Průměr: 1. 1,2 mm 2. Name-Type of Flux/Jméno-typ tavidla: Drying of F.M./Sušení svař. mat.: 1. °C 2. Replace/Náhrada: 1. 2.	Gas / Plyn: 12-15 l/min % l/min Shielding/O. svaru: 1. Ar+18%CO2 M21 2. Backing/O. kofene: 1. N.A. 2. Trailing/Dodatečná: 1. N.A. 2. Remark/Poznámka: EN ISO 14175																																																																																
Position / Pozice: PH Groove/Důlka: 1. 2. Fillet/Koutový: 1. 2.																																																																																	
Joint Design / Tvar spoje: 		Welding Sequences / Postup svařování: 																																																																															
Preheat / Předehřev: Preheat Temp./Teplota předehřevu: N.A. °C Interpass: °C Post Heating/Dohřev: N.A. °C h Cooling After W./Ochlazení po s: still air klidný vzduch Temp. Control/Kontrola teploty: Remark/Poznámka:																																																																																	
Post Weld Heat Treatment / Tepelné zpracování po svařování: Type/Typ: N.A. Temperature/Teplota: °C Time/Čas: min. Heating Rate/Rychlost ohřevu: °C/h Cooling Rate/Rychlost ochlazení: °C/h Remark/Poznámka:																																																																																	
Technique / Technika svařování: Tungsten El./Wolframová elektroda: φ mm Type - Type of Bead/Tvar housení: 1. string - rovná 2. Edge Preparation/Příprava úkosu: machined / obráběný Weaving / Rozkvy: 1. N.A. 2. Method of Cleaning/Metoda čištění: mechanical / mechanický Pulsing/Pulzace: 1. N.A. 2. Method of Back Gouging/Dražkování kofene: mechanical / mechanický Oscillation/Oscilace: 1. N.A. 2. Remark/Poznámka:																																																																																	
Welding Parameters / Svařovací parametry: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Layer(s) Vrstva</th> <th>Process Metoda</th> <th>Filler Material/Svařovací materiál φ (mm) Classification/Klasifikace</th> <th>Type/Polarity Typ /Polarita</th> <th>Amperage/Power (A)</th> <th>Voltage/Napětí (V)</th> <th>Travel Speed (cm/min) Rychlost posuvu (cm/min)</th> <th>Heat Input (kJ/mm) Tepelný příkon(kJ/mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1-3</td> <td>135</td> <td>1,2 OK Autrod 12.51</td> <td>DC/+</td> <td>180-200</td> <td>19-20</td> <td>30</td> <td>0,58-0,68</td> </tr> <tr> <td>4-6</td> <td>135</td> <td>1,2 OK Autrod 12.51</td> <td>DC/+</td> <td>180-200</td> <td>19-20</td> <td>30</td> <td>0,58-0,68</td> </tr> <tr> <td>7-n</td> <td>135</td> <td>1,2 OK Autrod 12.51</td> <td>DC/+</td> <td>260-320</td> <td>27-29</td> <td>25</td> <td>1,43-1,89</td> </tr> <tr> <td>n-m</td> <td>135</td> <td>1,2 OK Autrod 12.51</td> <td>DC/+</td> <td>260-320</td> <td>27-29</td> <td>25</td> <td>1,43-1,89</td> </tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>		Layer(s) Vrstva	Process Metoda	Filler Material/Svařovací materiál φ (mm) Classification/Klasifikace	Type/Polarity Typ /Polarita	Amperage/Power (A)	Voltage/Napětí (V)	Travel Speed (cm/min) Rychlost posuvu (cm/min)	Heat Input (kJ/mm) Tepelný příkon(kJ/mm)	1-3	135	1,2 OK Autrod 12.51	DC/+	180-200	19-20	30	0,58-0,68	4-6	135	1,2 OK Autrod 12.51	DC/+	180-200	19-20	30	0,58-0,68	7-n	135	1,2 OK Autrod 12.51	DC/+	260-320	27-29	25	1,43-1,89	n-m	135	1,2 OK Autrod 12.51	DC/+	260-320	27-29	25	1,43-1,89																																								
Layer(s) Vrstva	Process Metoda	Filler Material/Svařovací materiál φ (mm) Classification/Klasifikace	Type/Polarity Typ /Polarita	Amperage/Power (A)	Voltage/Napětí (V)	Travel Speed (cm/min) Rychlost posuvu (cm/min)	Heat Input (kJ/mm) Tepelný příkon(kJ/mm)																																																																										
1-3	135	1,2 OK Autrod 12.51	DC/+	180-200	19-20	30	0,58-0,68																																																																										
4-6	135	1,2 OK Autrod 12.51	DC/+	180-200	19-20	30	0,58-0,68																																																																										
7-n	135	1,2 OK Autrod 12.51	DC/+	260-320	27-29	25	1,43-1,89																																																																										
n-m	135	1,2 OK Autrod 12.51	DC/+	260-320	27-29	25	1,43-1,89																																																																										
Remarks / Poznámky: Tack welding shall be performed accordance with WPS. Not Peening during and after welding.																																																																																	

 Prepared (Name, Date, Signature): 22.5.2014
 Přípravil (jméno, datum, podpis): Michal Keprt

 Approved (Name, Date, Signature):
 Schválil (jméno, datum, podpis) Ing. Jaroslav Kubiček

PŘÍLOHA 6 : WPS-2603-3-PT-3

D&C Blanko	WPS	Welding Procedure Specification specifikace svařovacího postupu	WPS No./č.: WPS-2603-3-PT-3	Rev.: 0
			Date/Datum 22.5.2014	Pg./Str.: 1/1

Welding Process/Metoda: 1. 135 2. Type of Weld/Typ svaru: BW - nesymetrický oboustranný 1/2 V Backing/Podložka: N.A. Other/Ostatní: Welder Svářeč		Supporting/Související																																																																																
Base metal / Základní materiál: Material 1: S 355 J2 EN10025-2 Group: 1.2 Outside Dia./Vnější Thickness/Tloušťka: 20 mm Material 2: S 355 J2 EN10025-2 Group/Sk.: 1.2 Outside Dia./Vnější Thickness/Tloušťka: 120 mm Remark/Poznámka:																																																																																		
Filler Material / Svařovací materiál: Classification: 1. EN ISO 14 341A, G 42 3 M21 3Si1 Klasifikace: EN ISO 14 341A, G 42 3 M21 3Si1 Designation: 1. OK Autrod 12.51 Označení: OK Autrod 12.51 Size/Průměr: 1. 1,2 mm 2. Name-Type of Flux/Jméno-typ tavidla: Drying of F.M./Sušení svař. mat.: 1. °C 2. Replace/Náhrada: 1. 2. Remark/Poznámka:		Gas / Plyn: 12-15 l/min % l/min Shielding/O. svaru: 1. Ar+18%CO2 M21 2. Backing/O. kořene: 1. N.A. 2. Trailing/Dodatečná: 1. N.A. 2. Remark/Poznámka: EN ISO 14175																																																																																
Position / Pozice: PH Groove/Do úkos: 1. 2. Fillet/Koutový: 1. 2. Remark/Poznámka:																																																																																		
Joint Design / Tvar spoje: 		Welding Sequences / Postup svařování: 																																																																																
Preheat / Předehřev: Preheat Temp./Teplota předehřevu: N.A. °C Interpass: °C Post Heating/Dohřev: N.A. °C h Cooling After W./Ochlazení po still air kladný vzduch Temp. Control/Kontrola teploty: Remark/Poznámka:																																																																																		
Post Weld Heat Treatment / Tepelné zpracování po svařování: Type/Typ: N.A. Temperature/Teplota: °C Time/Čas: min. Heating Rate/Rychlost ohřevu: °C/h Cooling Rate/Rychlost ochlazení: °C/h Remark/Poznámka:																																																																																		
Technique / Technika svařování: Tungsten El./Wolframová elektroda: φ mm Type - Type of Bead/Tvar housení: 1. string - rovná 2. Edge Preparation/Příprava úkosu: machined / obráběný Weaving / Rozkvy: 1. N.A. 2. Method of Cleaning/Metoda čištění: mechanical / mechanicky Pulsing/Pulzace: 1. N.A. 2. Method of Back Gouging/Drážkování kořene: mechanical / mechanicky Oscillation/Oscilace: 1. N.A. 2. Remark/Poznámka:																																																																																		
Welding Parameters / Svařovací parametry: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Layer(s) Vrstva</th> <th>Process Metoda</th> <th>Filler Material/Svařovací materiál φ (mm) Classification/Klasifikace</th> <th>Type/Polarity Typ /Polarita</th> <th>Amperage/Power (A)</th> <th>Voltage/Napětí (V)</th> <th>Travel Speed (cm/min) Rychlost posuvu (cm/min)</th> <th>Heat input (kJ/mm) Tepelný příkon(kJ/mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1-3</td> <td>135</td> <td>1,2 OK Autrod 12.51</td> <td>DC/+</td> <td>180-200</td> <td>19-20</td> <td>30</td> <td>0,58-0,68</td> </tr> <tr> <td>4-6</td> <td>135</td> <td>1,2 OK Autrod 12.51</td> <td>DC/+</td> <td>180-200</td> <td>19-20</td> <td>30</td> <td>0,58-0,68</td> </tr> <tr> <td>7-n</td> <td>135</td> <td>1,2 OK Autrod 12.51</td> <td>DC/+</td> <td>260-320</td> <td>27-29</td> <td>25</td> <td>1,43-1,89</td> </tr> <tr> <td>n-m</td> <td>135</td> <td>1,2 OK Autrod 12.51</td> <td>DC/+</td> <td>260-320</td> <td>27-29</td> <td>25</td> <td>1,43-1,89</td> </tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>			Layer(s) Vrstva	Process Metoda	Filler Material/Svařovací materiál φ (mm) Classification/Klasifikace	Type/Polarity Typ /Polarita	Amperage/Power (A)	Voltage/Napětí (V)	Travel Speed (cm/min) Rychlost posuvu (cm/min)	Heat input (kJ/mm) Tepelný příkon(kJ/mm)	1-3	135	1,2 OK Autrod 12.51	DC/+	180-200	19-20	30	0,58-0,68	4-6	135	1,2 OK Autrod 12.51	DC/+	180-200	19-20	30	0,58-0,68	7-n	135	1,2 OK Autrod 12.51	DC/+	260-320	27-29	25	1,43-1,89	n-m	135	1,2 OK Autrod 12.51	DC/+	260-320	27-29	25	1,43-1,89																																								
Layer(s) Vrstva	Process Metoda	Filler Material/Svařovací materiál φ (mm) Classification/Klasifikace	Type/Polarity Typ /Polarita	Amperage/Power (A)	Voltage/Napětí (V)	Travel Speed (cm/min) Rychlost posuvu (cm/min)	Heat input (kJ/mm) Tepelný příkon(kJ/mm)																																																																											
1-3	135	1,2 OK Autrod 12.51	DC/+	180-200	19-20	30	0,58-0,68																																																																											
4-6	135	1,2 OK Autrod 12.51	DC/+	180-200	19-20	30	0,58-0,68																																																																											
7-n	135	1,2 OK Autrod 12.51	DC/+	260-320	27-29	25	1,43-1,89																																																																											
n-m	135	1,2 OK Autrod 12.51	DC/+	260-320	27-29	25	1,43-1,89																																																																											
Remarks / Poznámky: Tack welding shall be performed accordance with WPS. Not Peening during and after welding.																																																																																		

Prepared (Name, Date, Signature): 22.5.2014
 Připravil (jméno, datum, podpis): Michal Keprt

Approved (Name, Date, Signature):
 Schválil (jméno, datum, podpis) Ing. Jaroslav Kubiček

VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

2603-3-PT	ASSEMBLY OF BIFURCATION
260601-3-PT	OUTLET TUBE
260602-3-PT	INLET TUBE 1
260603-3-PT	INLET TUBE 2
260604-3-PT	CIRCULAR RIBS
260605-3-PT	STIFFENING RIBS